

凍結路面の発生メカニズムに関する熱収支的考察

石川信敬・成田英器・須藤正季（北大低温研）、加治屋安彦（開土研）

冬期間、道路上には滑りやすい雪氷路面が存在するが、最近の特徴は極めて薄い氷膜が短時間に出現し路面がミラー（鏡面）化することである。これまでの研究によると氷膜は道路積雪が何らかの方法で融解し再び凍結することによって出来ると指摘されている。そこで本研究では車両からの放射熱を考慮して道路雪氷面の熱収支特性を求めた。

雪氷面における熱収支は通常、放射収支量、顕熱、潜熱、積雪下面の熱伝導及び積雪層の貯熱変化量であらわされる。本研究ではこれら全成分を実測すると同時に、今冬期の平均風速、相対湿度、雲量及び日射量を用いて熱収支各成分を温度だけの関数として表した。図1は晴天日の顕熱量と潜熱量、長波放射2成分を示したものである。顕熱量は氷点下で約 17 W/m^2 となったが、この値はほぼ実測値に等しい。気温が正の時は表面温度を 0°C で一定としたため顕熱は急激に増加している。潜熱量は小さいがこれは気温が表面温度より高くても相対湿度が低いため、大気中の水蒸気量が表面の飽和水蒸気圧にほぼ等しくなったためである。表面からの放射は大気放射より常に大である（平均約 96 W/m^2 ）。なお 0°C 以上の温度範囲では地球放射量は 0°C 面からの放射量とした。このように雪面における熱収支成分の中で放射が最も重要な要因であることが分かる。そこで図2には新雪面（アルベド0.8）と融雪面（アルベド0.5）の放射収支量を示した。 0°C 以下では放射収支量はほぼ一定値をとりアルベドが高い時には常に負になる。温度が正になると放射収支量が急激に増加しているが、これは雪面を 0°C に固定しているため地球放射は変化しないのに大気放射は温度と伴に増大しその結果として長波長収支が正になったためである。

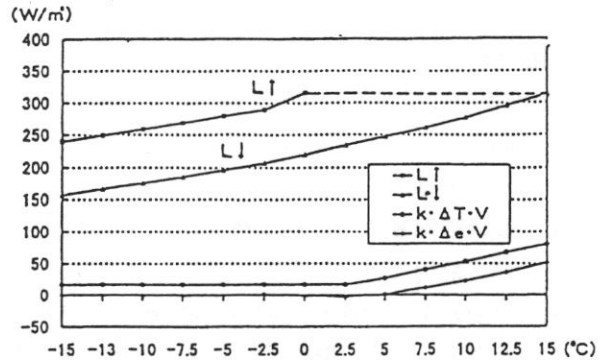


図1. 顕熱、潜熱、長波長放射量と温度

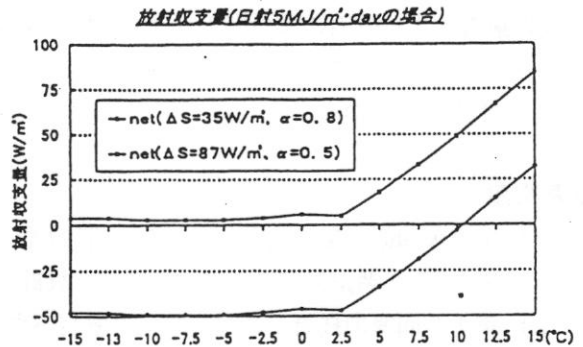


図2. 温度と放射収支量

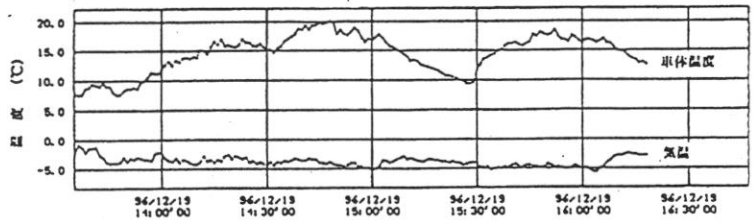


図3. 車体底面温度と気温の時間変化

道路雪氷面が融解するのは気象条件だけによるものではないことは、交通量の多い道路や交差点前で融解再凍結がよく見られることから明らかである。ここが周囲に比べてより融解する要因として車両からの放射熱を考えた。図3は札幌市内を走行した時の車体温度と気温の変化を示したものである。気温は $-0.9 \sim -5.7^{\circ}\text{C}$ であったが車体温度は気温より $5 \sim 15^{\circ}\text{C}$ 程高くなった。図4は車両底部温度及び後部バンパー温度と気温の関係を表したものである。バラツキは大きいが両者には直線関係が

みられ車体底面の温度は気温より約 10°C 、後部は約 4°C 高くなった。なお相関係数は $0.7 \sim 0.8$ である。晴天日に大気から雪氷面に与えられる長波長放射は気温を黒体放射としたときの約65%に過ぎない。一方、車両底部からの放射は黒体放射として考えて良い。今、路面上の定点を

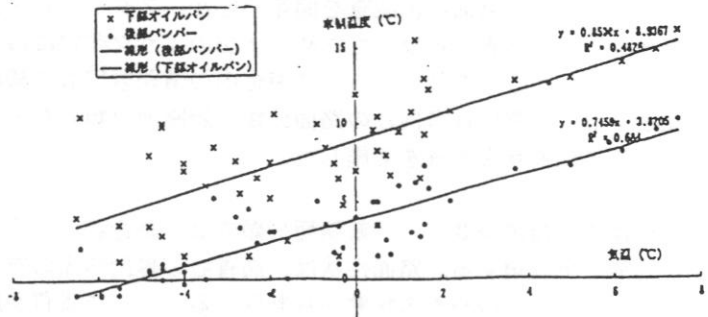


図4. 気温と車両温度の関係

考えると、通過車両は瞬間的に放射で熱を与えて去っていく。路面に与えられる放射量は通過台数が同じであれば速度が遅いほど多くなり、速度が同じであれば台数が増えるほど多くなる。そこで通過台数や速度の代わりに路面上の天空を車両が遮蔽する時間（すなわち車両の累積停車時間）を用いて、路面が受ける放射量を見積もった（図5）。横軸は1時間当たり路面が車両に塞がれる時間であり、この時間中は大気放射が遮られその代わりに車両からの長波長放射を受ける。ここでは気温 -5°C において車体温度が4通りの場合を示した。今、車が1台も通過しなかった時（遮蔽時間0）路面が受ける放射量は大気放射量そのものであるが、遮蔽時間が長くなるほど車両からの長波長放射量の寄与分が増大するため路面が受ける全長波長放射量は増加する。すなわち通過車両がない場合に、路面は1時間当たり 0.7 MJ/m^2 の放射を受けるだけであるが、 15°C の車両に30分遮蔽されると路面が受ける放射量は 1.06 MJ/m^2 、60分では 1.40 MJ/m^2 となり、それぞれ大気放射量が51%、61%増加したことになる。冬期間の長波長放射量は、大気放射量が $150 \sim 200 \text{ W/m}^2$ 、地球放射量が $250 \sim 300 \text{ W/m}^2$ （ $-15 \sim 0^{\circ}\text{C}$ ）であった。この時、車両からの熱で大気放射量が見かけ上50%増加すると $225 \sim 300 \text{ W/m}^2$ となりほぼ地球放射量に匹敵し長波長放射収支は正となる。このため路面雪氷は加熱され融解する。しかし車両の影響がなくなると、路面は常に冷却状態にあるため融解水は再凍結を始める。これが交通量の多い交差点前や駐車車両の下に氷膜が形成される要因のひとつと考えられる。

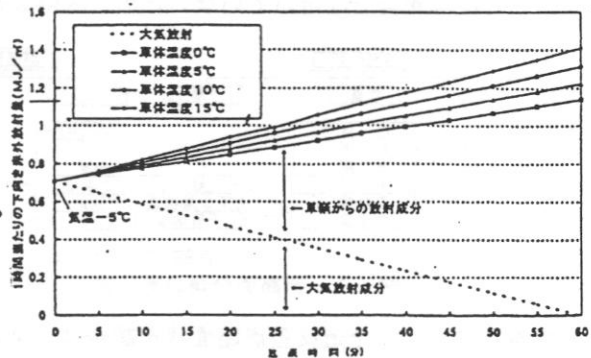


図5. 車両からの長波長放射量と遮蔽時間の関係

ど車両からの長波長放射量の寄与分が増大するため路面が受ける全長波長放射量は増加する。すなわち通過車両がない場合に、路面は1時間当たり 0.7 MJ/m^2 の放射を受けるだけであるが、 15°C の車両に30分遮蔽されると路面が受ける放射量は 1.06 MJ/m^2 、60分では 1.40 MJ/m^2 となり、それぞれ大気放射量が51%、61%増加したことになる。冬期間の長波長放射量は、大気放射量が $150 \sim 200 \text{ W/m}^2$ 、地球放射量が $250 \sim 300 \text{ W/m}^2$ （ $-15 \sim 0^{\circ}\text{C}$ ）であった。この時、車両からの熱で大気放射量が見かけ上50%増加すると $225 \sim 300 \text{ W/m}^2$ となりほぼ地球放射量に匹敵し長波長放射収支は正となる。このため路面雪氷は加熱され融解する。しかし車両の影響がなくなると、路面は常に冷却状態にあるため融解水は再凍結を始める。これが交通量の多い交差点前や駐車車両の下に氷膜が形成される要因のひとつと考えられる。