

■論文題目	冬季路面における自転車の制動距離などの研究		
■氏名（学籍番号）	中野拓紀（0412020071）		
■指導教員	宇佐美誠史	■所属コース	地域社会・環境コース
■キーワード	自転車	冬季	安全利用

1. 研究の背景・目的

冬季の自動車事故を防ぐためには除雪や凍結防止剤の散布等の道路管理が不可欠である。自転車においてもそれは同様であると考えられる。しかし、積雪・凍結路面上での自転車の走行挙動が乾燥路面上での走行と比較してどれだけ変化するのは明らかになっていない。冬季自転車利用者は積雪・凍結路面上を未知のリスクを抱えたうえで走行しており、規制や対策が施されていないのが現状である。

本研究では、冬季路面上で自転車を走行した際の制動距離・加速度・走行挙動の変化など、基礎的なデータを集めるとともに、それらを乾燥路面上での走行データと比較することによって、冬季路面上を自転車で走行することに変化があるか探ることを目的とする。

2. 既往研究

林¹⁾²⁾は、軽快車を対象として、制動時の様々な現象を調査した。著者は調査から、空走距離（人間の反応遅れおよび自転車内の伝達遅れ）が全制動距離の約40%を占めること、車輪のスリップが後輪に多く発生し、横滑りや転倒を引き起こす原因となること、湿潤路面上では乾燥路面の2~6倍ほど制動距離が延びることを明らかにした。

Rekiläら³⁾は、冬季における自転車の制動摩擦の検証が殆ど行われていないと指摘した上で、冬用タイヤを装着した自転車で冬季路面上の制動摩擦を実測した。結果、この研究で調査した条件（圧雪と緩い雪）では安全基準と同程度の摩擦が確認されたが、測定時のデータの変動が大きかったことが明らかになった。著者はこの結果に対し、「ブレーキ時に発生するスリップを制御しきれていないことが原因ではないか」と考察しており、冬季自転車をブレーキングの困難さを述べた。

Fenreら⁴⁾は、自転車の走行には転がり抵抗（Rolling resistance）が影響を与えるが、冬季の条件下での転がり抵抗は明らかになっていないことを指摘し、冬季の様々な路面状態で冬用タイヤを装着した自転車をを用い、転がり抵抗の実地測定を行った。測定は乾燥・湿潤したアスファルト上と8つの積雪路面上の計10路面で行われた。調査の結果、乾燥路面の転がり抵抗は、湿潤路面よりわずかに大きく、積雪路面よりわずかに小さいことが明らかになった。またその他にも、積雪深が増すほど転がり抵抗も大きくなること、転がり抵抗が主観的な自転車利用の快適性と相関していること、転がり抵抗が高いとき操舵性の低下や凹凸の増加が発生していることを明らかにした。

3. 調査方法

実験は、2023年12月から2024年1月にかけて行った。走行回数は計440回だった。

実験場所は岩手県立大学の敷地内で行うこととし、実験中の安全には最大限配慮した。路面状態は、土木研究所が作成した目視による17分類の雪氷路面分類⁵⁾を元に、目視によって分類した。本研究では上記した17分類のうち、乾燥・湿潤・シャーベット・つぶ雪・つぶ雪下層氷板・非常に滑りやすい氷板の6路面が実験中に実際に観測できた

本研究では、文教大学松本研究室所有の超音波センサやGPSセンサ等（LiDAR¹⁾）の機材を用いた。この機材

¹⁾ LiDAR…Light Detection And Ranging（光による検知と測距）の略称で、近赤外光や可視光、紫外線を使って対象物に光を照射し、その反射光を光センサでとらえ距離を測定する。

では、計測時間と観測対象の位置・移動速度(km/h)・機材までの距離(m)が観測できる。観測したデータを解析し、路面状態ごとに制動距離(m)、加速中の加速度(m/s^2)、減速中の加速度(m/s^2)を求め、それぞれの平均値を算出する。

警視庁は自転車のブレーキに対し、「ブレーキは前輪及び後輪にかかり、10km/h のとき、3メートル以内の距離で停止させることができること」という基準を定めており⁶⁾、これを制動距離の指標の1つとした。

自転車には速度計測機を設置し、実験の際は時速12kmを限度に加速した。本研究は、熟練した自転車走行経験のある被験者1名で行った。実験前には十分な説明・走行練習を行い、極力データに個人差が出ないように実験を行った。

4. 結果

計測した440サンプルのうち、330サンプルが解析可能だった。走行時の最高速度はどの路面でも約12km/hを示していた。

制動距離と路面状態の分散分析の結果、路面状態が制動距離に与える影響は有意であった($F(54)=349.77, p<0.001$)。また、各路面状態の結果を多重比較したところ、ほぼ全ての路面別制動距離の結果に有意な差があった($p<0.001$)が、湿潤路面とシャーベット路面の間にのみ有意差が見られなかった。

各路面状態を比較すると、乾燥路面の制動距離は他路面より短く、湿潤路面と積雪路面の制動距離は同程度であり、凍結路面の制動距離は他路面より長くなる傾向になることが分かった。また、積雪・凍結路面の制動距離は、乾燥路面の結果よりデータのばらつきが大きかった。平均制動距離を乾燥路面と比較すると、湿潤路面では4~5倍、積雪路面では5~6倍、凍結路面では10倍程長くなっていた。

制動距離を目的変数、最高速度・減速度・各路面状況を説明変数として重回帰分析を行ったところ、最高速度、減速度、各路面状況が制動距離に与える影響はどれも有意であったが、最高速度や減速度が制動距離に与える影響より各路面状態が制動距離に与える影響の方が大きい傾向にある結果が示された。

5. 結論・今後の展望

自転車で冬季路面上を走行する際の加速・減速・停止等の挙動は、乾燥路面走行時とは大きく異なる可能性が高い。さらに、積雪路面と凍結路面の走行挙動にも差異が見られた。しかし、湿潤路面上とシャーベット路面上での制動距離の結果に差異が見られなかった。本研究では、路面状態が制動距離へ与える影響は他の要素が与える影響より大きいという結論に至ったが、冬季の自転車利用には自転車の空気圧・防滑措置の有無、利用者の属性、時間帯などの多くの要因が夏季の利用との差異を生じさせていると考えられるため、今後の調査で明らかにしていきたい。

【参考文献】

- 1) 林博明：ブレーキ機能と人間の制動特性 第1報 ミニサイクルと婦人軽快車について、自転車産業振興協会技術研究所 研究報告、自転車技術情報、1978年 vol.1, pp.35-66.
- 2) 林博明：水ぬれ時の制動特性(自転車の安全性、操縦性の研究)、自転車技術情報 自転車産業振興協会、1982年 pp.21-35.
- 3) Katja-Pauliina Rekilä, Alex Klein-Pasteb: Measuring bicycle braking friction in winter conditions Cold Regions Science and Technology Volume 125, May 2016, pp.108-116
- 4) Mathis Dahl Fenre, Alex Klein-Paste: Cold Regions Science and Technology, Volume 187, July 2021, 103282
- 5) 小嶋伸一、小林一治、樋口徳男、武士俊也：冬期道路における雪氷路面管理指標の検討、土木研究センター、土木技術資料 2004年
- 6) 警視庁ホームページ：自転車の交通ルール 警視庁