

## そろばん道路の発生過程とその条件：定点カメラ観測に基づく一考察

### A study on a growing process and its conditions of Soroban road based on observation with fixed point cameras

蟹江俊仁・Zheng Hao・横見瀬大地（北海道大学大学院工学研究院），  
金田安弘・永田泰浩（（一社）北海道開発技術センター），正木智（札幌市）  
Shunji Kanie, Zheng Hao, Daichi Yokomise,  
Yasuhiro Kaneda, Yasuhiro Nagata and Satoshi Masaki

#### 1. はじめに

そろばん道路とは、北海道をはじめとする積雪寒冷地において、冬期間に自動車等が走行することにより舗装路面上に自然発生する氷の凹凸のことである（図1）。同様の現象は、砂利道などにおいて車両が通行することにより凹凸が自然発生する「Washboard Road（以下、洗濯板道路）」などとしても古くから知られているが、積雪凍結路面におけるそろばん道路については、未だにその発生と成長のメカニズムに関する科学的解明がなされていない。著者らは、札幌市内の北大構内に二台の定点カメラを設置し、冬期間におけるそろばん道路の発生状況を継続的に観察するとともに、気象データなどとの関連性を調べることにより、その発生過程と発生条件に関わる検討を行った。



図1 そろばん道路

#### 2. 本研究の目的

既往の研究として、洗濯板道路に関するものが比較的古くからある。例えばわが国では道路工学の観点から、1954年に竹下ら<sup>1)</sup>が「そろばん道路」という名称を使ってその現象を説明している。また海外では、砂利道に自然発生する現象を室内実験や理論数理モデルなどを使って説明しようとする研究がなされてきた（例えば、J. A. Bothら<sup>2)</sup>、N. Taberletら<sup>3)</sup>、B. Percierら<sup>4)</sup>、P. Claudinら<sup>5)</sup>など）。これらの研究はいずれもその発生原因や成長過程を説明しようとするものであるが、科学的な機構解明には至っていない。一方、積雪凍結路面に関する研究としては、その生成原因を観測的なアプローチから説明しようとする研究（永田ら<sup>7)</sup>）や、生成された表面凹凸の性状分析や走行性能に関する研究（松倉ら<sup>8)</sup>、寒地土木研究所<sup>9)</sup>など）は行われているものの、その生成メカニズムを科学的に説明できるものではない。こうしたことから本研究では、冬期間における積雪凍結路面の表面を定点カメラで継続的に観察し、気象等の自然条件や通行車両台数などの社会条件と照らし合わせながら、その発生過程と条件についての知見の蓄積と考察を行うこととした。

#### 3. 観測方法と観測条件

積雪凍結路面におけるそろばん道路の生成は、北海道において日常的に見かける現象であり、道路交通量がある程度見込まれる場所、特に交差点付近に多くできることが経験的に知られている。このため、観測場所としては北海道大学構内の北十三条門ゲート付近、

出構側車線を選定した。

この道路では、一日当たり 1,000 台以上の交通量が見込まれる上、守衛所で必ず車両は停止するため、冬期間にそろばん道路がしやすいことが知られている。さらに、通過車両台数もゲートの開閉回数から正確に把握することができるため、観測には非常に適していると判断した。観測には二台の定点カメラを用いることとした。一台は道路脇の歩道に設置された照明用ポールに取り付け、路面からの高さ約 2.5 m の位置から対象路面全体の様子分かるように設置した。本論文ではこれを「インタバルカメラ」と称する(図 2)。またもう一台は、路面からの高さが約 0.7m と低い位置に設置した「タイムラプスカメラ(図 3)」であり、道路のセンターライン側から凹凸の生成と成長過程が観察できるようにした。観測期間は、2015 年 12 月 21 日から 2016 年 3 月 31 日までである。

なお、これらの観測とは別に、そろばん道路の生成に関心のある研究者、工学者、一般人にも協力を仰ぎ、そろばん道路を見かけた時にはその写真と場所、ならびに日時を記載して、指定された SNS のサイトに投稿するようお願いした。



図 2 インタバルカメラ



図 3 タイムラプスカメラ

#### 4. 観測結果

1 シーズンにわたる観測結果の中から、特に生成と消失が複数回繰り返された 2016 年 1 月 19 日から 1 月 24 日までの 6 日間に着目し、詳細な観察と考察を加えることとした。その結果、1 月 19 日の夕刻 17:00-20:00 位の間に図 4 のような凹凸が観測され、その後消失した後(図 5)、1 月 22 日の夕刻、ほぼ同時刻に再び凹凸の生成が観察された。これらの観測結果から分かったこととして、午後 15:00 以降に生成されることが多く、凹凸は場所を変えずにその場で成長することが確認された。今回の観測では、凹凸の大きさの定量的計測はできていないものの、19:00 位にかけて成長することが多いことが判明した。



図 4 1/19 17:15(発生)



図 5 1/21 18:00(消失)

#### 5. 発生過程と条件に関わる考察

2016 年 1 月 19 日から 1 月 24 日までの六日間の観測結果から、15:00-21:00 までの 6 時間の映像を取出し、凹凸の発生と消失を確認したところ、1 月 19 日と 1 月 22 日の二回は生成と成長が確認され、残りの四日間では凹凸の発生が確認できなかった。そこで、発生と成長に関わると思われる気象データとして、気温、降雪量、積雪深を取り上げ、札幌気象台のデータからこれらの変化を見てみた(図 6)。その結果、発生と成長が確認できた二日間については共通の条件として、①ある程度のまとまった降雪量があった後、②積雪深が減少する傾向にあり、③気温が概ね 0℃から-2℃の間にあることが判明した。

一方、特に夕刻の時間帯に発生と成長が見られることから、観測点を通過する交通量についても調査を行った。図 7 は対象となっている期間の時間毎ゲート交通量を表しており、

出構側車線は平日 15:00-21:00 の平均で時間 120 台強，ピークとなる平日 17:00-18:00 で時間 160 台強に及ぶことが分かった．このため，特にピーク時間帯では出構側車線が渋滞する状況となっており，後日サーモグラフィーで走行部分と周辺部との温度差を計測してみたところ，走行部分の路面表面温度は周辺部分に比べて概ね 2~4℃程度高いことも判明した（図 7）．

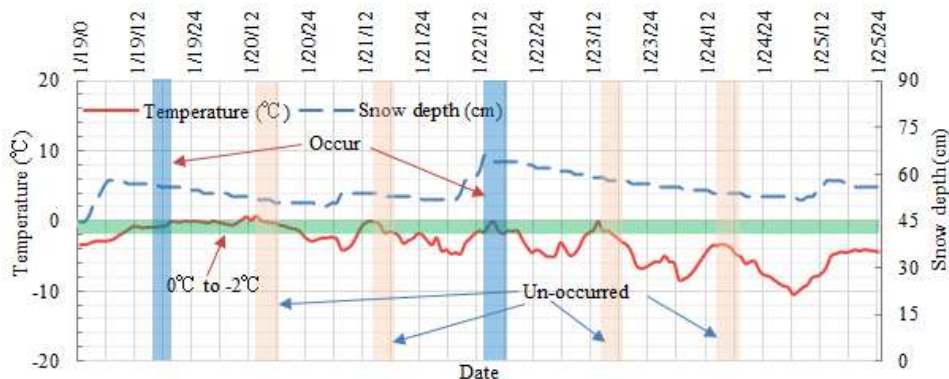


図 6 2016 年 1 月 19 日から 1 月 22 日までの気温，降雪量，積雪深の変化

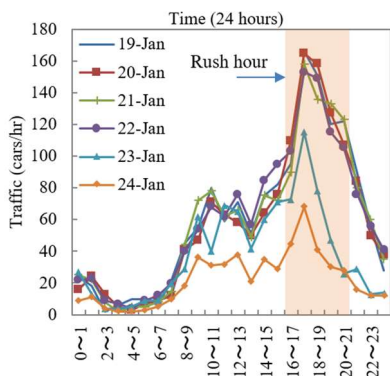


図 7 出構ゲート通過交通量

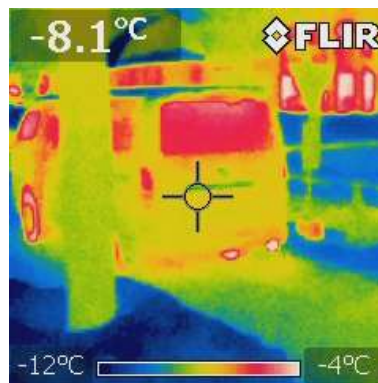


図 8 走行車線と周辺部の温度差計測例

## 6. 推論の妥当性に対する考察

これまでの観測結果と発生条件の考察から，昨冬の気温，降雪量，積雪深のデータをもとに「そろばん道路ができる条件が揃った日」は何時だったのかを検証してみた．紙面の都合上，初の積雪が発生した 2015 年 11 月中旬から 1 月末までのデータに絞って紹介すると，図 9 のようになる．すなわち，11 月 25 日，12 月 18 日から 19 日にかけて，1 月 19 日，1 月 22 日の 4 回，条件が揃ったことがわかる．

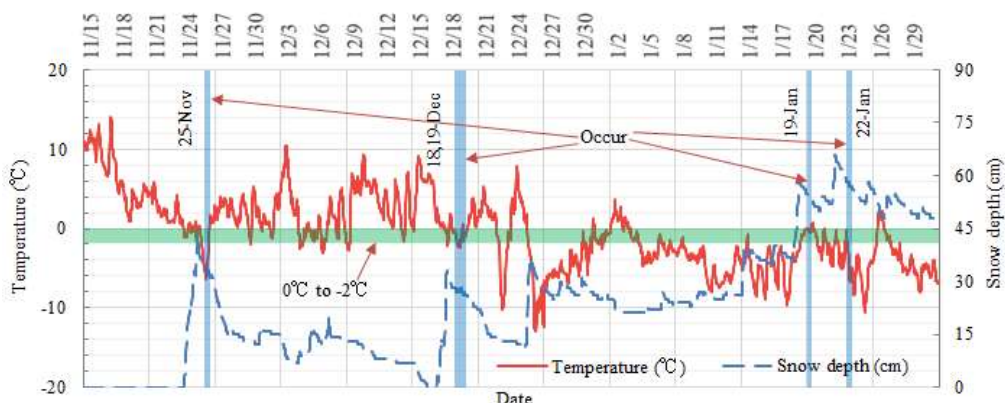


図 9 2015 年 11 月中旬から 2016 年 1 月末までの気温，降雪量，積雪深の変化



一方、SNS を通じて投稿されたそろばん道路写真 (図 10~13) を見てみると、これらの日付に、いずれも札幌市内とその周辺でそろばん道路が観察されていたことが分かった。なお、本論文では割愛したものの、2月、3月においても同様の観測写真が投稿されている。

## 7. まとめ

以上より、そろばん道路が発生し成長する条件として、一定程度の交通量のあるところで、①ある程度のまとまった降雪量があった後、②積雪深が減少する傾向にあり、③気温が概ね  $0^{\circ}\text{C}$  から  $-2^{\circ}\text{C}$  の間にあることが判明した。著者らは、標準砂を使ったそろばん道路の室内再現実験にも成功しており、今後は天然雪や人工雪を用いてこれらの条件を再現し、その発生メカニズムを解明する予定である。また、SNS (Facebook) を用いたそろばん道路の情報収集は、発生条件とメカニズムの解明に非常に有益と考えられ、さらに多くの人々に協力を呼びかけ、研究の進展を目指したい。

そろばん道路情報収集サイト:「そろばん・評判・見張り番!」

URL: <https://www.facebook.com/groups/201709790166110/>

### 【参考・引用文献】

- 1) 竹下春見・小林浩二, 1954: そろばん道路・砂利道の波, *道路: Road engineering & management review*, **54-2**, 69-71
- 2) Joseph A. Both et al., 2001: Corrugation of roads, *Physica A*, **301**, 545-559
- 3) Nicolas Taberlet et al, 2007: Washboard road: The dynamics of granular ripples formed by rolling wheels, *Physical Review Letters*, **PRL 99**, 1-4
- 4) Baptiste Percier et al, 2011: Lift and drag forces on an inclined plow moving over a granular surface, *Physical Review*, **E84**, 1-7
- 5) Baptiste Percier et al, 2013: Modeling a washboard road: From experimental measurements to linear stability analysis, *Physical Review*, **E87**, 1-7
- 6) P. Claudin et al, 2015: Physical process causing the formation of penitents, *Physical Review*, **E92**, 1-10
- 7) 永田泰浩ら, 2012: 「そろばん道路」の発生に関する考察, *北海道の雪氷*, **31**, 77-80
- 8) 松倉佑太ら, 2008: そろばん道路の路面特性について, *土木学会北海道支部論文集*, **65**, E4
- 9) 高橋尚人ら, 2016: 冬期道路の走行性評価技術に関する研究, *寒地土木研究所報告*, 1-12



図 10 2015.11.25 20 時頃 新千歳空港付近 (撮影者: 永田)



図 11 2015.11.25 21 時頃 西岡付近 (撮影者: 永田)



図 12 2015.12.18 23 時頃 澄川周辺 (撮影者: 永田)



図 13 2016.1.19 22 時頃 北一条東 10 丁目付近 (撮影者: 正木)