

除雪時に発生する騒音の計測と解析

森崎 稜磨・寺島 修[†]
(工学部 機械システム工学科)

要約：本研究では、我々雪国に暮らす人々にとって必要不可欠な作業である人の手による除雪作業に関し、より一層除雪者の肉体・心理的負荷の小さい除雪方法を提案することを目的に、除雪時に発生する人にとって不快な現象の一つである騒音について調べた。除雪経験の異なる2名の被験者を対象として除雪時に発生する音を計測して解析した結果、除雪時に発生する音は除雪器具が地面上を摺動する際に発生する音が支配的であることが明らかとなった。また、除雪器具に発生する振動加速度は除雪器具の鉛直方向に発生する振動加速度が支配的であり、発生音とも相関が高いものとなっていた。さらに、除雪器具による摺動音を低減するため、上述の鉛直方向の振動加速度を低減する対策を施した除雪器具を使用することで、発生音の不快感を低減できる見通しが得られた。

キーワード：雪国、除雪、肉体・心理的負荷、摺動音

1. はじめに

ロボット、人工知能、IoT、自動運転などの最新技術が研究開発されている現在においても、人の手による除雪作業は雪国に住む人々にとって未だ必要不可欠な作業となっている。

人の手による除雪作業が人に与える肉体的・心理的負荷は大きい。例えば、雪をすくい上げて運ぶ際には腕、肩、腰、手首、心肺機能へ負担がかかることが知られており¹⁻³⁾、路面に接する雪を除雪する際にはスコップが路面と干渉する際に発生する振動や騒音により肉体的・心理的負荷が発生する。また、通勤・通学前や早朝からの除雪作業が与える心理的負荷も高いと推測される。

このような人の手による除雪作業と肉体(筋運動・筋肉・心肺機能)に関する研究は上述の古川の研究¹⁾に始まり、須田による多くの研究^{2,4,5)}、山下らによる研究^{3,6)}、田中らによる研究⁷⁾などがある。また、近年では除雪作業に愉しさをもたせるためのスコップの研究⁸⁻¹⁰⁾なども行われている。さらに、日本が迎えている少子高齢化社会を背景とした女性高齢者の除雪作業に関する研究¹¹⁾や少し観点は異なるが除雪作業も含めた寒冷地での生活が心身の健康・保健行動に及ぼす影響についても調べられている¹²⁾。なお、海外でも類似の研究や報告は行われている¹³⁾もののその数は少なく、比較的日本で盛んに研究が行われているものと考えられる。

このように、人の手による除雪に関する研究はこれまで行われてきた一方、その課題は除雪作業と身体との関係に留まらない。その一例として、アスファルトやコンクリートなどの硬い

地面に接する雪を除雪する際に発生する音やスコップを握る手が感じる振動など、動的変化を伴う現象による心理的・肉体的疲労が挙げられる。このスコップが地面を擦る際に発生する摺動音は人にとって好ましくない音となることがあり、除雪者やその周囲にいる人は少なからずこの音により心理的負担を受けられる可能性がある。

そこで本研究では、人にやさしい除雪技術の確立を目標に、スコップを用いて人の手で除雪を行う際に発生する音について調べて理解を深めた。また、除雪時に発生する音を心理的負荷・ストレスの小さいものとするすることで、除雪作業時の作業者や近隣の人に対する負荷を軽減する手法を検討した結果について報告する。なお、本研究では一部の実験で人を対象とした実験を行うため、富山県立大学「人を対象とする研究」倫理審査部会にて審査・実施承認を得るとともに、被験者と実験内容に関して同意した上で実験を行った。

2. 実験方法

図1に今回の実験で用意した除雪器具(以下、スコップ)の写真を示す。図1に示すように、市販されている様々なスコップを用意して実験を行った。プラスチック製の軽量なものから金属製の重厚なもの、先端が尖った形状となっているものなどを用意して各スコップ使用時の音を計測した。

図2に雪とスコップが干渉した際の音の計測の様子、図3にスコップが地面を摺動するときに発生する音の計測の様子を示す。雪とスコップが干渉した際の音はスコップに対して十分大きい



図-1 本研究で使用した除雪器具

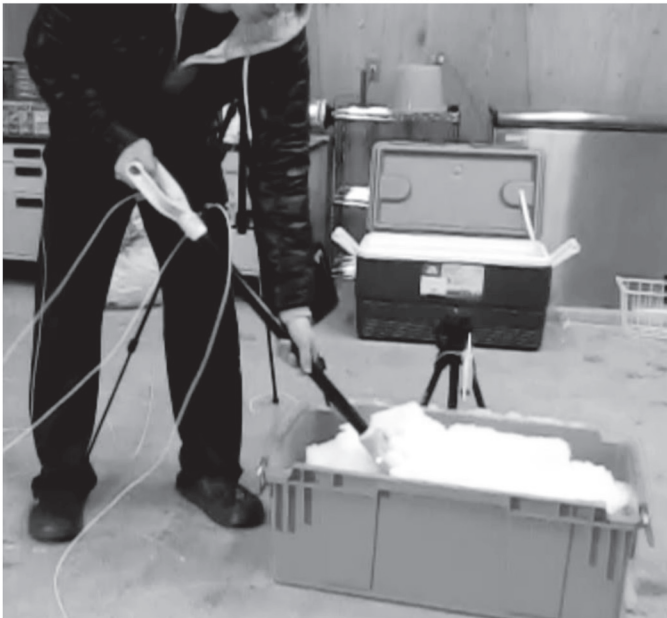


図-2 スコップが雪と干渉する時の音の計測の様子



図-3 スコップが地面上を撓動する時の音の計測の様子

バケツに、新雪時に採取し低温環境(-20℃)で冷凍保存したパウダー状の雪を入れ、そこにスコップを挿入する形で計測した。また、スコップが地面を撓動するときが発生する音は、一般的なコンクリート上を、地面に対するスコップの角度を約40度として滑らせて計測した。40度の角度は5名の被験者の除雪時の傾斜角度を平均して算出した値である。

図4に音の計測用のマイクロホンの設置位置を示す。除雪者の耳位置 (マイクロホン 1)と雪または地面近傍位置 (マイクロホン 2)にマイクロホンを設置して音の計測を行った。マイクロホン1は除雪者の耳から10 cm、マイクロホン2は雪面または地面から15 cmの位置に設置した。また、スコップに発生する振動加速度を計測するため、スコップの持ち手部分に1軸加速度センサを3個取り付けた。これらの加速度センサはそれぞれスコップの持ち手の前後方向、鉛直方向、幅方向の振動加速度が計測できるように設置した。マイクロホンはPCB社のI30F20、加速度センサは同じくPCB社の352C41を使用した。これらのセンサはシグナルコンディショナ (Keyence NR-500 および NR-CA04) に接続して計測を行い、計測した信号はシグナルコンディショナに接続したPCのハードディスクに保存した。計測時のサンプリング周波数は20 kHz、1回の計測時間は6秒とした。音の計測時の被験者は2名とした。1名は山間部出身の比較的除雪作業経験が長い除雪者(被験者A)、もう1名は都市部出身の除雪作業経験がほとんど無い除雪者(被験者B)とした。各計測は3回ずつ行い、計測結果の再現性を確認しながら進めた。なお、上述の加速度センサにより計測した振動加速度を積分してスコップの持ち手に作用している力を求め、この力が極力全てのスコップで同程度となるように条件を揃えて実験を行った。

3. 結果と考察

はじめに図5に示す金属製の角形スコップ(以下、金属製角形1



図-4 被験者と計測器の位置関係

と表記)を使用した際の計測結果を示す。なお、このスコップを使用した時の発生音のO.A.値が最も大きくなった。このスコップは全長815 mm、質量1.1 kg、作用部の長さが218 mm、作用部の幅が180 mmである。

図6に金属製角形1が雪と干渉するときの被験者Aの音の計測結果、図7に地面を摺動するときの被験者Aの音の計測結果を示す。各図の横軸は周波数(Hz)、縦軸は相対音圧(dB)を表している。この結果は、計測した音の時系列信号をFFT解析することにより得た。FFT解析は窓関数はハニング、窓サイズは8,192点とした。なお、FFT解析は音が発生している時の信号に対してのみ行い、スコップの動作前、動作後の音が発生していない時の信号は解析対象外とした。

図6より、スコップが雪と干渉するとき発生した音は幅広い周波数帯域に渡って発生しており、いずれかの周波数に特徴的な発生音をもつものとはならなかった。一方、図7より、スコップが地面を摺動するときの音はいくつかの周波数に特徴的な発生音をもつ(スペクトル解析結果に複数のピークが見られる)ものとなっていた。また、発生音の音圧は雪と干渉するとき比べて20 dB程度大きくなっていた。これより除雪時に発生する音は地面を摺動するときの音が支配的であることがわかる。このため、以降は地面を摺動する音に着目して考察する。なお、音の解析では短時間FFT解析やスペクトログラムなどの、時間-周波数解析も多用されており、発生音の周波数とその時系列変化の関係を調べるために有効である。このため、本研究でもこれらを用いた解析を試みたが、上述のとおり本研究で解析の対象とした音は周波数が広帯域に渡り、なおかつ角周波数の音圧の差異が小さいため、新たな知見につながる結果とならなかった。

図8-図12に、金属製角形1が地面を摺動するときの音とスコップの持ち手に発生する振動加速度の計測結果を時系列信号として示す。図8はマイクロホン1、図9はマイクロホン2による音圧の計測結果、図10-図12はそれぞれ持ち手の幅方向、鉛直方向、前後方向の振動加速度の計測結果を表している。いずれの図においても横軸は時間を表しており、図8、図9の縦軸は音圧、図10-図12の縦軸は振動加速度を表している。これらの図より、スコップと地面が摺動する時には徐々に発生音の音圧が大きくなり、その後小さくなるという特徴がみられた。また、持ち手に発生する振動加速度の大きさは鉛直方向、前後方向、左右方向の順となった。さらに、図9と図11の比較から、地面を摺動する時に発生する音は持ち手に発生する鉛直方向の振動加速度と相関が高く、その相互相関値は持ち手幅方向、持ち手前後方向のものに比べ4-5倍程度となった。



図-5 金属製角形1

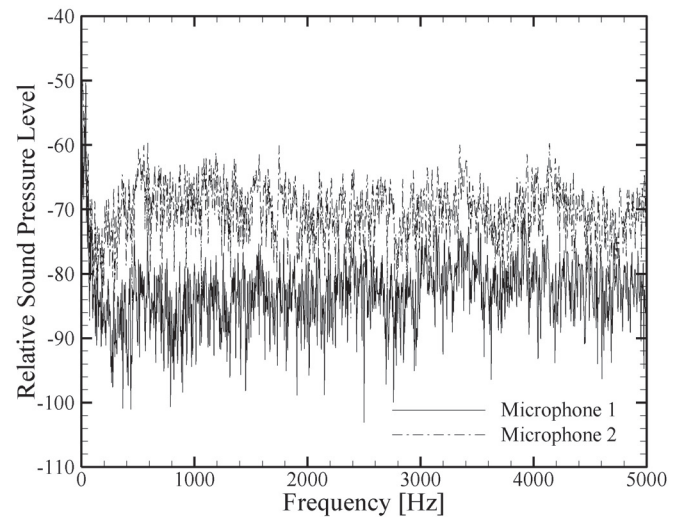


図-6 雪と干渉する時の音のFFT解析結果
(被験者A・金属製角形1)

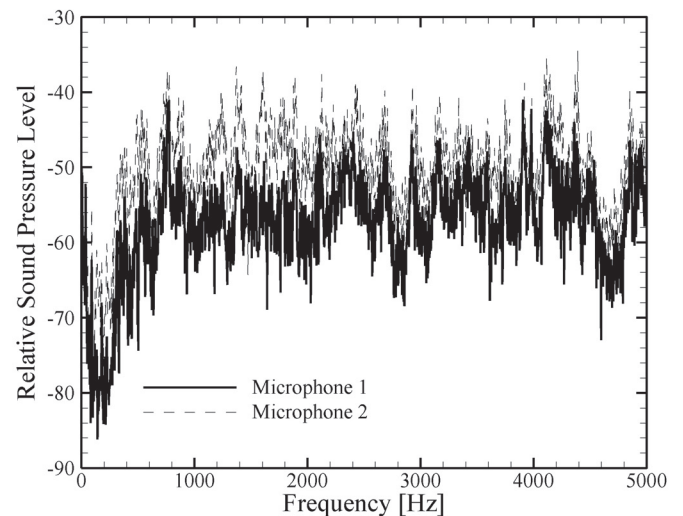


図-7 地面を摺動する時の音のFFT解析結果
(被験者A・金属製角形1)

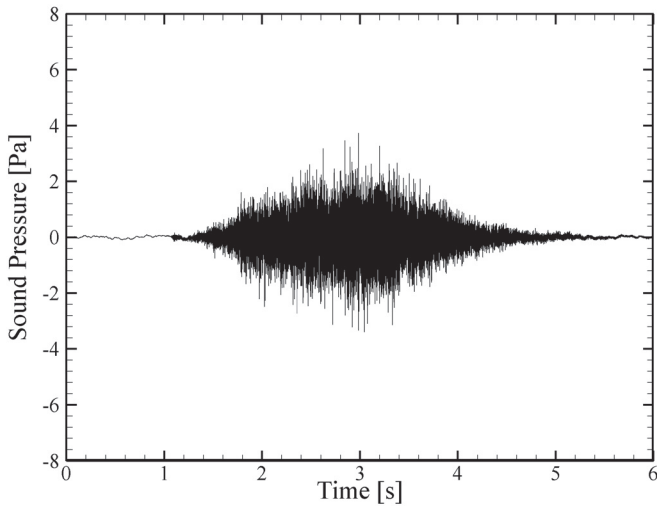


図-8 地面を摺動する時の音の時系列変化
(被験者A・金属製角形1・マイクロホン1)

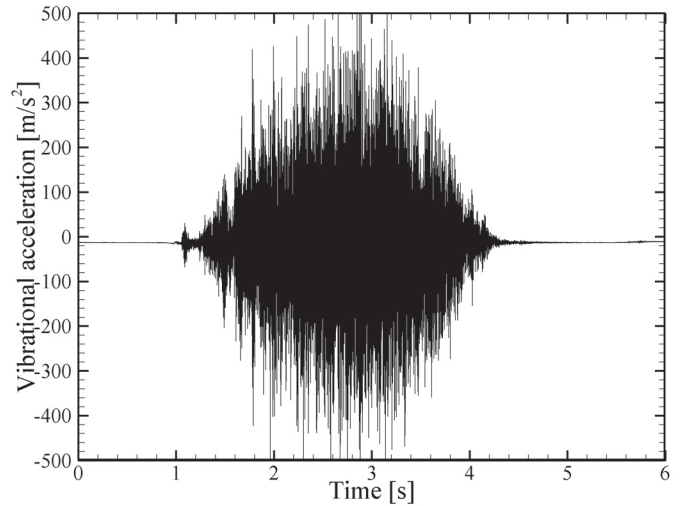


図-11 地面を摺動する時に発生する振動加速度の時系列変化
(被験者A・金属製角形1・持ち手鉛直方向)

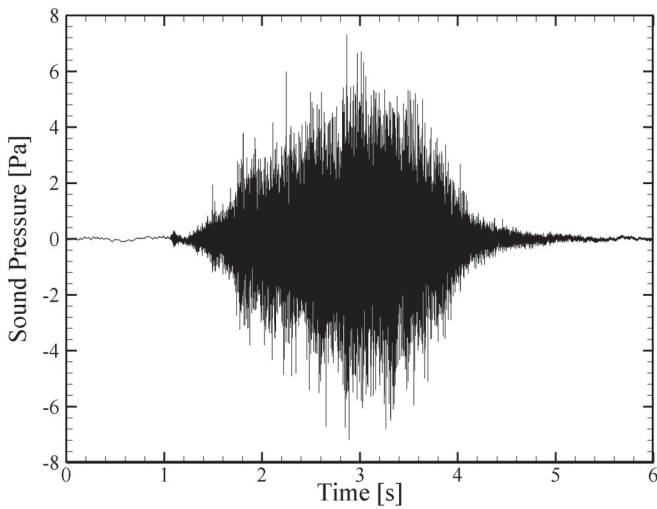


図-9 地面を摺動する時の音の時系列変化
(被験者A・金属製角形1・マイクロホン2)

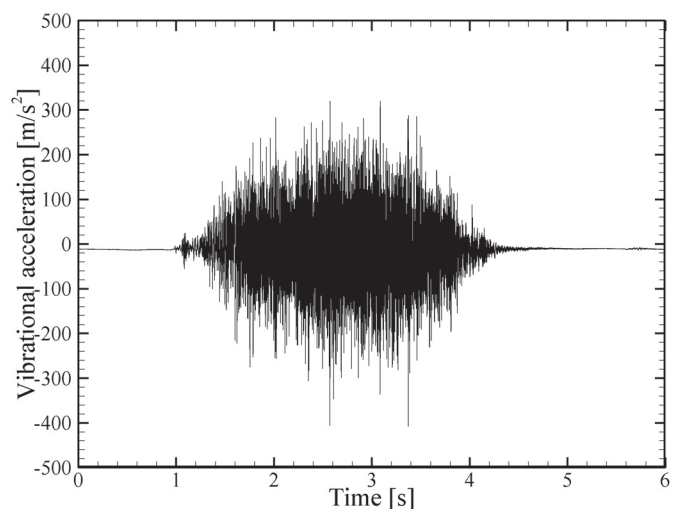


図-12 地面を摺動する時に発生する振動加速度の時系列変化
(被験者A・金属製角形1・持ち手前後方向)

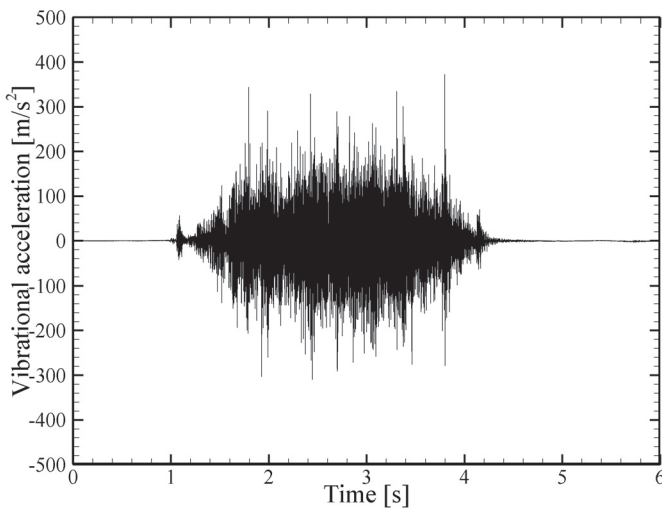


図-10 地面を摺動する時に発生する振動加速度の時系列変化
(被験者A・金属製角形1・持ち手幅方向)

図13に被験者Aと被験者Bを対象として金属製角形1を用いて地面を摺動する時の音をマイクロホン2で計測した結果を示す。図の縦軸と横軸は図7と同一である。図13より、被験者が異なる場合でも計測結果に大きな差異は見られず、除雪技術や除雪経験、体格などに大きく発生音が影響されない可能性が示された。

ここまでの結果を踏まえ、スコップが地面を摺動する時に発生する音の改善方法を検討した。対象としたスコップは対策のし易さ、加工のし易さを踏まえて図14に示す金属製角形スコップ(以下、金属製角形2と表記)とした。このスコップは全長915 mm、質量1.5 kg、作用部の長さが220 mm、作用部の幅が190 mmである。音の改善のため、このスコップの作用部にシリコンゴム状の型取り材料を用いて高さ2-4 mmの樹脂製の凹凸部を摺動方向に対して30度の傾斜をつけて設けた際の発生音を計測した。

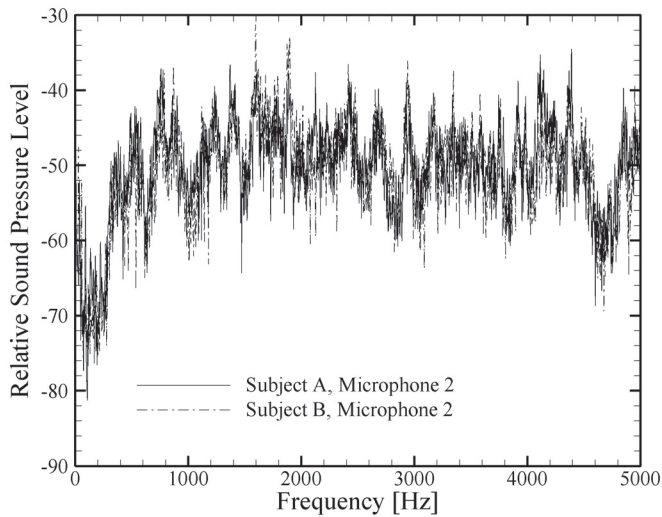


図-13 地面を摺動する時の音のFFT解析結果
(被験者A or B・金属製角形1・マイクロホン2)



図-14 金属製角形2

図15に対策前後の金属製角形2が地面を摺動する音のFFT解析結果を示す。図の横軸は、縦軸は図7と同一である。図15より、上述の対策を施すことで200 Hzから2.5 kHzの発生音が低減できていることがわかる。

図16、図17に対策前後の金属製角形2が地面を摺動する時に発生する音の時系列変化を示す。いずれの図の横軸、縦軸も図8に示したものと同一である。これらの図より、対策を施すことで、音圧の最大値が低下していることがわかる。また、高周波数の時間変化が早いスパイク上の音圧の変化も少なくなっていることがわかる。これらの変化により、図15に示した差異がもたらされたものと考えられる。

最後に、図16、図17に示した計測音を5名の被験者に試聴してもらい、過去の研究¹⁴⁾と同様の方法でその印象をアンケート形式での回答と脈波を基にしたストレス分析で評価した結果、そ

のうちの3名が発生音の音色が良くなったと回答した。無論、被験者の数が5名と少ないためこの結果からは断言できないが、上述のわずかな対策により除雪時に発生する音が改善できる見通し・可能性は得ることができた。

最後に、スコップが地面を摺動する時の音が最も小さくなったプラスチック製角形のスコップを用いた場合の結果を図18に示す。図18は地面を摺動する時の音のFFT解析結果であり、その横軸と縦軸は図7と同一である。このスコップは全長1,000 mm、質量550 g、作用部の大きさは長さ250 mm、幅175 mmで、作用部には約80個の直径8 mmの穴が設けられている。図18より、摺動時に発生する音は1.5 kHzから2 kHz付近が大きくなっており、幅広周波数帯域に渡って音圧が高くなった金属製のスコップを使用した場合と異なるものとなった。また、発生する音の音圧のピーク値が金属製のスコップに比べて10 dB以上小さくなった。

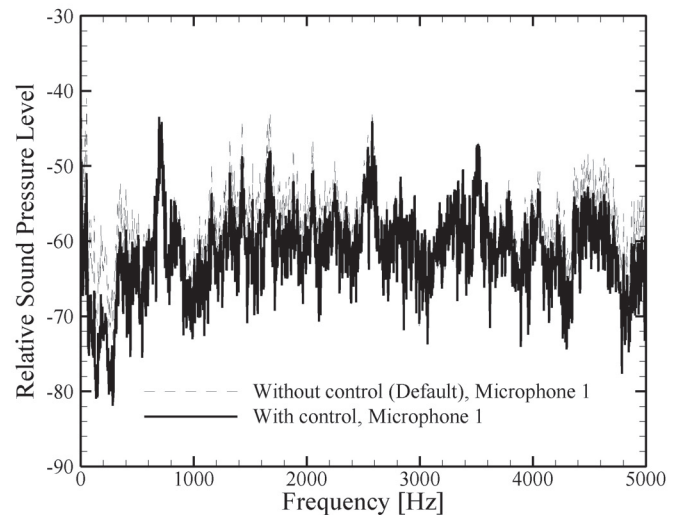


図-15 地面を摺動する時の音のFFT解析結果
(被験者A・金属製角形2・マイクロホン1)

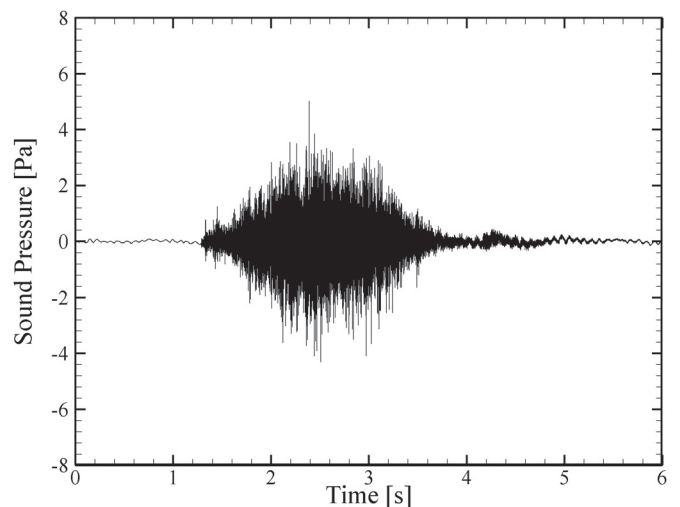


図-16 地面を摺動する時の音の時系列変化
(被験者A・金属製角形2・対策なし・マイクロホン1)

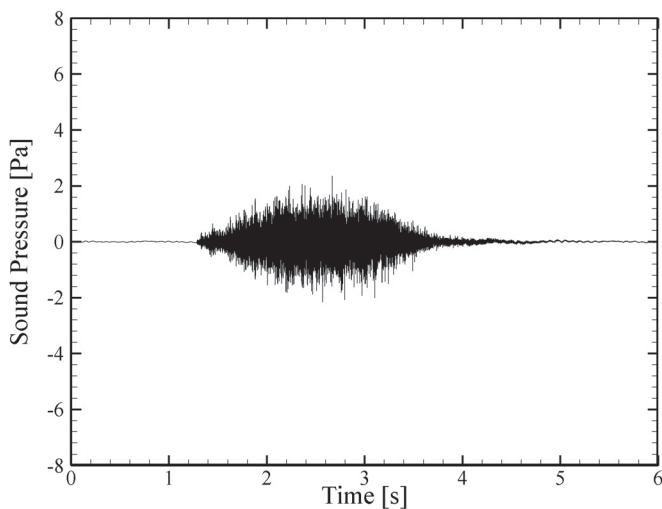


図-17 地面を摺動する時の音の時系列変化

(被験者A・金属製角形2・対策あり・マイクロホン1)

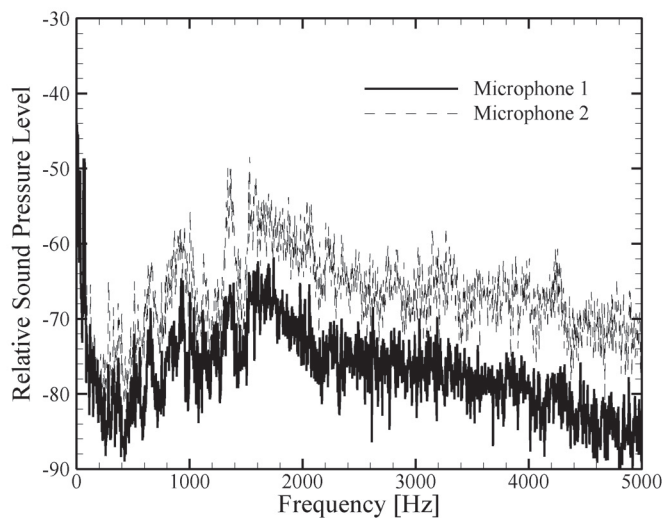


図-18 地面を摺動する時の音のFFT解析結果

(被験者A・プラスチック製角形・マイクロホン1)

4. まとめ

人の手による除雪の際に発生する音について調べた結果、除雪時に発生する音は除雪器具(スコップ)が地面を摺動する音が支配的であることが明らかとなった。また、この音はスコップの作用部の簡易な改良によりその音の不快感が改善できる可能性が見いだされた。

参考文献

- 1) 古川巖. "人力除雪“歩掛り”の研究." 雪氷 25.1 (1963): 3-7.
- 2) 須田力. "除雪作業と体力." 北海道大学教育學部紀要= THE ANNUAL REPORTS ON EDUCATIONAL SCIENCE 57 (1992): 141-183.
- 3) 山下弘二, 三浦雅史, 李相潤, 吉岡利忠. "除雪の作業条件と呼吸循環応答." 理学療法学 30.5 (2003): 273-279.
- 4) 須田力, 浅尾秀樹, 加藤満, 永谷稔, 蓑内豊, 内田英二, 森田勲.

- (2007). 成人男子の人力除雪時の筋活動. 北方圏生活福祉研究所年報, 13, 43-51.
- 5) 大山陽平, 田中敏明, 吉成哲, 中島康博, 桑野晃希, 藤原健一, ... 須田力. (2005). ショベル柄の形状と雪重量の違いが除雪動作時の筋活動に及ぼす影響. In 理学療法学 Supplement Vol. 32 Suppl. No. 2 (第40回日本理学療法学会抄録集) (pp. A0512-A0512). 公益社団法人日本理学療法士協会.
- 6) 山下弘二, 三浦雅史, 李相潤, 佐藤秀紀. (2003). 除雪作業中の酸素摂取量の推定と運動様式. 青森県立保健大学紀要, 4(1), 1-6.
- 7) 田中昌史, 小林巧, 小林匠, 世古俊明, 信太雅洋, 隈元庸夫. (2015). ショベリング除雪反復動作における投擲高さが筋疲労に及ぼす影響. 理学療法科学, 30(4), 609-614.
- 8) 村井優, 赤川祐太, 上村靖司. (2016). 雪かきをエンターテイメントにするスマート・スコープの開発-その1: 圧力センサによる除雪量計測の試み. In 雪氷研究大会講演要旨集 雪氷研究大会 (2016・名古屋) (p. 312). 公益社団法人日本雪氷学会/日本雪工学会.
- 9) 村井優, 赤川祐太, 上村靖司. (2016). 雪かきをエンターテイメントにするスマート・スコープの開発-その2: 圧力・加速度センサによる作業スキル判定の検討. In 雪氷研究大会講演要旨集 雪氷研究大会 (2016・名古屋) (p. 313). 公益社団法人日本雪氷学会/日本雪工学会.
- 10) 上村靖司, 村井優, 赤川祐太, 大高信仁. (2017). 雪かきをエンターテイメントにするスマート・スコープの開発-その3: 除雪動作判定アルゴリズムの構築と屋外実験. In 雪氷研究大会講演要旨集 雪氷研究大会 (2017・十日町) (p. 184). 公益社団法人日本雪氷学会/日本雪工学会.
- 11) 森田勲, 山口明彦, 須田力. "豪雪地の女性高齢者における人力除雪作業の生理的応答." 日本雪工学会誌 22.2 (2006): 93-103.
- 12) 吉田礼維子, 白井英子. (2006). 寒冷積雪の生活環境が成人・高齢者の活動と心身の健康・保健行動に及ぼす影響. 天使大学紀要, 6, 1-10.
- 13) Astrand, P. Rodahl (1986) Textbook of work physiology: physiological basis of exercise. Mc Graw Hill Book Company. New York: Mc-Graw-Hill, 3, 8-9.
- 14) Terashima, O., Kinoshita, F., Touyama, H., and Sawada M. (2018) On the Estimation of Psychological Stress Caused by Road Noise in a Vehicle Cabin. INTER-NOISE and NOISE-CON Congress and Conference Proceedings, 7, 739-744.

謝辞

本研究の遂行に際し、富山県元気な雪国づくり助成事業による財政的支援を受けた。また、木村隼大氏、澤田真宏氏には本学在学中に研究に協力頂いた。ここに記して感謝の意を表す。

Measurement and analysis of the noise in snow shoveling

Ryoma MORISAKI and Osamu TERASHIMA[†]
(Department of Mechanical Systems Engineering, Faculty of Engineering)

Summary

In this study, the snow removal task by ourselves, which is indispensable for the people living in the snowy country, occurs during snow removal in order to propose a snow removal method that further reduces the physical and psychological stress of the snow remover. We investigated the noise generated during snow removal, which is one of the unpleasant phenomena for humans. As a result of measuring and analyzing the noise generated during snow removal for two subjects with different snow removal experiences, it was revealed that the noise generated when snow removal equipment rubbing the ground was dominant. In addition, the vibrational acceleration generated in the snow removal equipment for the vertical direction was dominant and it had a high correlation with the generated noise. Furthermore, it was found that there is a possibility to reduce the unwanted and discomfort noise in snow shoveling by using snow removal equipment with some easy and simple countermeasures.

Keywords: Snow country, Snow removing work, Physical and Psychological stress, Sliding and rubbing noise