

令和 4 年 6 月 30 日現在

機関番号：12608

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2018～2021

課題番号：18H01592

研究課題名(和文) 雪粒子の個別運動モデルと数値流体解析の連成による飛雪・積雪環境高精度予測法の開発

研究課題名(英文) Development of prediction method for drifting snow environments by coupling computational fluid dynamics with Lagrangian particle transport model

研究代表者

大風 翼 (Okaze, Tsubasa)

東京工業大学・環境・社会理工学院・准教授

研究者番号：40709739

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 11,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、乱流変動を高精度かつ非定常に風環境を予測可能なLarge-eddy simulationと粒子個々の運動を取り扱うラグランジュ的個別運動モデルを連成させた、吹雪の非定常現象を定量的に予測可能な新たな飛雪モデルを構築した。飛雪モデル検証のため、風洞実験や雪原での野外観測を実施し、風速と飛雪流量の統計量を取得した。観測値の選定のために、メソ気象解析を行い、冬季に風向が安定して強風が吹く北海道の弟子屈で観測を行うこととした。風洞実験や野外観測結果の比較に基づき、構築した飛雪モデルの予測精度の検証を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

強風下で、降雪や再飛散した雪を伴う風を吹雪と呼ぶ。乱流変動に伴い、瞬間的に視程が大きく低下するほか、局所的な吹きだまりが形成され、建物周辺では、流れ場が3次元的に大きく変化することから、より複雑な問題となる。現状、数値流体解析に基づく平均風速分布の予測を基礎とした積雪分布の予測モデルが提案されているが、本研究で提案した非定常現象が予測可能な飛雪モデルにより、非定常的な乱流変動と雪の飛散メカニズムの分析が可能となると考えられ、突風など短い時間での地吹雪による視程の低下や吹きだまりの形成などの対策への貢献が期待できる。

研究成果の概要(英文)：In this study, we developed a new drifting snow model that can predict unsteady phenomena of drifting by coupling a large-eddy simulation, which can accurately predict turbulent fluctuations, with a Lagrangian particle model that predict the motion of individual particles. To validate the drifting snow model, wind tunnel experiments and field observations in a snowfield were conducted to obtain statistics of wind speed and the mass flux of drifting snow. A meso-meteorological simulation was conducted to discuss observation site, and it was decided in Teshikaga, Hokkaido, where wind direction is stable and strong winds blow during the winter season. Based on comparisons of wind tunnel experiments and field observations, the accuracy of the developed drifting snow model was validated.

研究分野：都市・建築環境

キーワード：吹雪 飛雪 数値流体解析 粒子飛散 吹きだまり 風洞実験 野外観測 境界層

1. 研究開始当初の背景

強風下で、降雪や再飛散した雪を伴う風を吹雪と呼ぶ。建物周辺では、複雑な3次元気流場の形成により、雪飛散・堆積が起こり、吹雪の付随現象として、局所的な吹きだまりが形成される。建物周辺の吹きだまりは、その処理に大きな労力を伴うほか、生活動線の分断、屋根雪荷重の偏分布など様々な問題が生じる。現状、数値流体解析に基づく平均風速分布の予測を基礎とした積雪分布の予測モデルが提案されているが、ごく短い時間での地吹雪による視程の低下や吹きだまりの形成などへの対策のため、非定常的な乱流変動と雪の飛散メカニズムの分析が期待されている。

2. 研究の目的

本研究の目的は、乱流変動を高精度かつ非定常に風環境を予測可能な Large-eddy simulation と粒子個々の運動を取り扱うラグランジュ的個別運動モデルを連成させた、吹雪の非定常現象を定量的に予測可能な新たな飛雪モデルを構築するとともに、吹雪風洞実験や野外観測結果に基づき、構築した飛雪モデルの予測精度の検証を行うことである。

3. 研究の方法

(1) 新たな飛雪モデルの定式化

Large-eddy simulation の支配方程式に、粒子が流れ場へ及ぼす影響を定式化して組み込むとともに、ラグランジュの数値モデルにより粒子個々の運動を再現した。

(2) メソ気象解析に基づく野外観測地点の選定

理想的な吹雪観測地点の条件として、強風が頻繁に発生しその風向が安定していることや、観測地点風上にて気流障害物のない長い吹走距離を有していることが挙げられる。そこで、以上の条件を満たす観測地点の選定のため北海道道東を対象に、領域気象モデル WRF を用いたメソ気象解析を実施し、結果を分析した。計算期間は、助走期間を含め2019年2月16日21時から2月19日21時の3日間とした。18日午前中に北西よりの強風が観測されている。

(3) 野外吹雪観測の実施

メソ気象解析の基づき選定した地点で、タワー観測を実施した(図3参照)。観測地点の風上は、1 km 以上気流障害物のない雪原が広がっている。超音波風速計(Young社製: CYG-81000)及びスノー・パーティクル・カウンター(新潟電機社製: SPC-95 ないし SPC-S7)を4高度(1.0 m、1.5 m、3.0 m、7.0 m)に設置した。サンプリングレートは、風速が10 Hz、飛雪流量が1 Hzとした。観測期間は、2019年から2021年までの3冬季の各々2月1日から3月31日である。

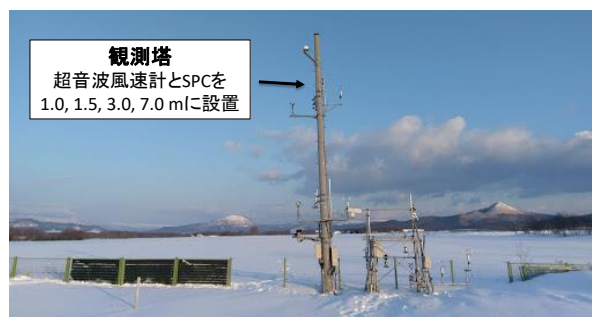


図1 観測地点の様子

(4) 開発した飛雪モデルの精度検証

風洞実験を対象とした解析では、防災科学技術研究所雪氷防災研究センター新庄雪氷環境実験所において実施した風洞実験を対象とした。風洞は、14 m(x)×1 m(y)×1 m(z)の密閉型回流式で、温度-10°Cの風洞内に雪を敷き詰め、5.0 m/sの風を流して、吹雪を発生させている。

野外観測を対象とした解析では、弟子屈での野外観測の気象条件を対象とした。解析領域は、25.6 m(x)×6.4 m(y)×20.0 m(z)とした。流れ場は、地吹雪が発生していた10分間の野外観測結果を参考に、圧力勾配により駆動した。

4. 研究成果

(1) 新たな飛雪モデルの定式化

流れ場については、計算格子内の粒子が単位体積当たり流れ場に及ぼす力を付加項として加えた LES の支配方程式を、雪粒子一つ一つの運動に対しては、ニュートンの運動方程式を解いた。雪面上の雪粒子の振る舞いは、流れの摩擦応力による空気中への取り込み、衝突粒子の跳ね

返り、衝突粒子による他粒子の弾き出しのそれぞれに対し、モデル化を行った。

(2) メソ気象解析に基づく野外観測地点の選定

図2に、18日11時の標高200m風向・風速の水平分布図を示す。図2中央の峡谷部で、強風域が形成されていた。風向は谷筋に沿って北西で安定している。谷の入口から出口にかけて風速が加速し、出口にて強風となっていることから、弟子屈付近では、Gap windが発生していると考えられる。以上を踏まえ、弟子屈町周辺を観測地点として選定した(図2の黒丸)。

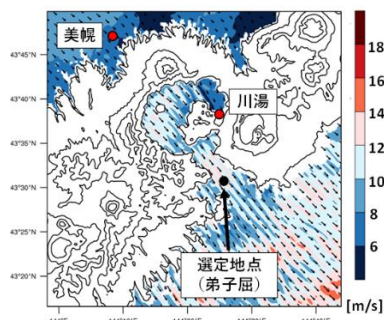


図2 強風時の標高200m地点の風向・風速の水平分布図
(赤丸は美幌及び川湯のAMeDAS地点, 黒丸は選定地点)

(3) 野外吹雪観測結果

観測期間中の、地吹雪が継続的に発生していたある10分間の、高さ1.0m地点の飛雪流量の確率分布を図4に示す。分布は右裾の長い形状となっていた。99パーセンタイル値は10分間平均値の約10倍となっていた。他の時間帯でも同様の傾向が見られた。

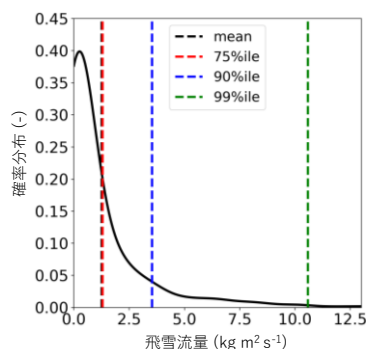
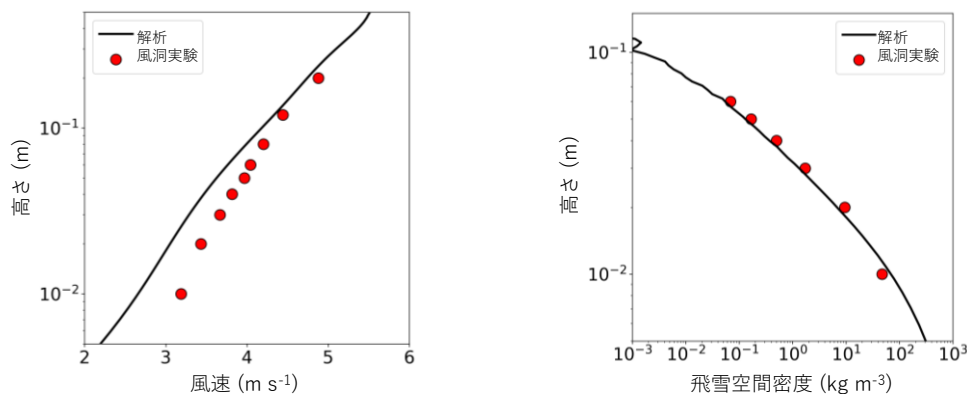


図3 吹雪が継続して発生した10分間の飛雪流量の確率分布

(4) 開発した飛雪モデルの精度検証

風洞実験を対象とした解析において、吹雪が十分に発達した地点で測定され計測された結果と解析結果を比較し、図4に示すとおり、開発した飛雪モデルにより、平均風速分布及び平均飛雪空間密度ともに概ね実験を再現できることを確認した。とを確認した。また、解析で得た雪面近傍の飛雪流量の確率分布の分析を行った結果、99パーセンタイル値は平均値の約10倍の値となっており、比較高さは異なるものの、野外観測で得た確率分布と同程度の分布が得られており、新たに開発した飛雪モデルでは、平均値だけでなく、稀に発生する高密な吹雪の非定常性も再現できたと考えられる。



(1) 風速

(2) 飛雪空間密度

図4 風洞実験を対象とした解析における諸量の鉛直分布

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計18件（うち査読付論文 5件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 12件）

1. 著者名 MASUZAWA Satoka, OMIYA Satoshi, OKAZE Tsubasa, NIIYA Hirofumi	4. 巻 83
2. 論文標題 Elucidations of vertical structures of blowing snow with snowfall	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of the Japanese Society of Snow and Ice	6. 最初と最後の頁 259 ~ 273
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5331/seppyo.83.3_259	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Okaze Tsubasa, Kikumoto Hideki, Ono Hiroki, Imano Masashi, Ikegaya Naoki, Hasama Takamasa, Nakao Keisuke, Kishida Takeshi, Tabata Yuichi, Nakajima Keigo, Yoshie Ryuichiro, Tominaga Yoshihide	4. 巻 202
2. 論文標題 Large-eddy simulation of flow around an isolated building: A step-by-step analysis of influencing factors on turbulent statistics	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Building and Environment	6. 最初と最後の頁 108021 ~ 108021
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.buildenv.2021.108021	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Wang Wei, Okaze Tsubasa	4. 巻 209
2. 論文標題 Statistical analysis of low-occurrence strong wind speeds at the pedestrian level around a simplified building based on the Weibull distribution	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Building and Environment	6. 最初と最後の頁 108644 ~ 108644
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.buildenv.2021.108644	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 新屋 啓文、大宮 哲、砂子 宗次朗、西村 浩一、大風 翼	4. 巻 2021
2. 論文標題 UAV-SfM 写真測量によるフェンス周辺の吹きだまり観測	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 雪氷研究大会講演要旨集	6. 最初と最後の頁 2 ~ 2
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14851/jcsir.2021.0_2	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 川島 理沙、池田 侑樹、大宮 哲、新屋 啓文、大風 翼	4. 巻 2021
2. 論文標題 WRFを用いた北海道弟子屈町周辺に発生する Gap wind 強化要因の検討	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 雪氷研究大会講演要旨集	6. 最初と最後の頁 4~4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14851/jcsir.2021.0_4	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 池田 侑樹、川島 理沙、大宮 哲、新屋 啓文、西村 浩一、大風 翼	4. 巻 2021
2. 論文標題 降雪を伴う吹雪時における飛雪流量の最大瞬間値と平均値の関係	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 雪氷研究大会講演要旨集	6. 最初と最後の頁 5~5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14851/jcsir.2021.0_5	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 大風 翼、池田 侑樹、川島 理沙、大宮 哲、新屋 啓文、西村 浩一	4. 巻 2021
2. 論文標題 吹雪時における飛雪流量の瞬間的な増加と乱流構造に関する分析	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 雪氷研究大会講演要旨集	6. 最初と最後の頁 6~6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14851/jcsir.2021.0_6	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 大風翼、池田侑樹、川島理沙、大宮哲、新屋啓文、西村浩一	4. 巻 D
2. 論文標題 吹雪の時空間構造の解明 (その1) : 吹雪境界層を対象としたタワー観測の概要	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 2021年度日本建築学会大会 (東海) 学術講演梗概集	6. 最初と最後の頁 2031-2032
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 池田侑樹、川島理沙、大宮哲、新屋啓文、西村浩一、大風翼	4. 巻 D
2. 論文標題 吹雪の時空間構造の解明(その2): 飛雪流量の確率密度に基づく吹雪の時間変動に関する分析	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 2021年度日本建築学会大会(東海) 学術講演梗概集	6. 最初と最後の頁 2033-2034
掲載論文のDOI(デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 川島理沙、池田侑樹、大宮哲、新屋啓文、大風翼	4. 巻 D
2. 論文標題 WRF解析による北海道弟子屈町周辺の谷地形が風況場に及ぼす影響の検討	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 2021年度日本建築学会大会(東海) 学術講演梗概集	6. 最初と最後の頁 2051-2052
掲載論文のDOI(デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 増澤 諭香、新屋 啓文、大宮 哲、大風 翼	4. 巻 2019
2. 論文標題 2018年度冬期の北海道川上郡弟子屈町における吹雪の長期観測	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 雪氷研究大会講演要旨集	6. 最初と最後の頁 177-177
掲載論文のDOI(デジタルオブジェクト識別子) 10.14851/jcsir.2019.0_177	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 新屋 啓文、大風 翼、根本 征樹、西村 浩一	4. 巻 2019
2. 論文標題 雪粒子の空気輸送モデルによる地吹雪メカニズムの解明 - その5 間欠性から連続性への輸送形態の変化 -	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 雪氷研究大会講演要旨集	6. 最初と最後の頁 97-97
掲載論文のDOI(デジタルオブジェクト識別子) 10.14851/jcsir.2019.0_97	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 大風 翼、新屋 啓文、大宮 哲、砂子 宗次郎、西村 浩一	4. 巻 2019
2. 論文標題 1つの吹雪イベントを対象とした2次元フェンス周辺の吹きだまり観測	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 雪氷研究大会講演要旨集	6. 最初と最後の頁 101-101
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14851/jcsir.2019.0_101	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Okaze Tsubasa, Niiya Hirofumi, Nishimura Kouichi	4. 巻 183
2. 論文標題 Development of a large-eddy simulation coupled with Lagrangian snow transport model	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics	6. 最初と最後の頁 35 ~ 43
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jweia.2018.09.027	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 大風 翼、持田 灯	4. 巻 25
2. 論文標題 LES による市街地風環境予測のためのデジタルフィルタを用いた人工的な流入変動風の生成	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 風工学シンポジウム論文集	6. 最初と最後の頁 211 ~ 216
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14887/kazekosymp.25.0_211	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 新屋 啓文、大風 翼、西村 浩一	4. 巻 2018
2. 論文標題 雪粒子の空気輸送モデルによる地吹雪メカニズムの解明 - その3 風速増加に伴う輸送形態の変化 -	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 雪氷研究大会講演要旨集	6. 最初と最後の頁 139 ~ 139
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14851/jcsir.2018.0_139	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 大風 翼、新屋 啓文、大宮 哲、根本 征樹	4. 巻 2018
2. 論文標題 雪粒子の空気輸送モデルによる地吹雪メカニズムの解明 - その4 ハイスピードカメラによるスプラッシュ過程の把握 -	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 雪氷研究大会講演要旨集	6. 最初と最後の頁 140 ~ 140
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14851/jcsir.2018.0_140	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 新屋啓文、大宮哲、根本征樹、大風翼	4. 巻 -
2. 論文標題 低温風洞におけるスプラッシュ過程の測定	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 日本雪氷学会北信越支部研究発表会予稿集	6. 最初と最後の頁 29 ~ 29
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計14件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 新屋 啓文、大宮 哲、砂子 宗次朗、西村 浩一、大風 翼
2. 発表標題 UAV-SfM 写真測量によるフェンス周辺の吹きだまり観測
3. 学会等名 雪氷研究大会2021 (千葉-オンライン)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 川島 理沙、池田 侑樹、大宮 哲、新屋 啓文、大風 翼
2. 発表標題 WRFを用いた北海道弟子屈町周辺に発生する Gap wind 強化要因の検討
3. 学会等名 雪氷研究大会2021 (千葉-オンライン)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 池田 侑樹、川島 理沙、大宮 哲、新屋 啓文、西村 浩一、大風 翼
2. 発表標題 降雪を伴う吹雪時における飛雪流量の最大瞬間値と平均値の関係
3. 学会等名 雪氷研究大会2021 (千葉-オンライン)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大風 翼、池田 侑樹、川島 理沙、大宮 哲、新屋 啓文、西村 浩一
2. 発表標題 吹雪時における飛雪流量の瞬間的な増加と乱流構造に関する分析
3. 学会等名 雪氷研究大会2021 (千葉-オンライン)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大風翼、池田侑樹、川島理沙、大宮哲、新屋啓文、西村浩一
2. 発表標題 吹雪の時空間構造の解明 (その1) : 吹雪境界層を対象としたタワー観測の概要
3. 学会等名 2021年度日本建築学会大会 (東海)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 池田侑樹、川島理沙、大宮哲、新屋啓文、西村浩一、大風翼
2. 発表標題 吹雪の時空間構造の解明 (その2) : 飛雪流量の確率密度に基づく吹雪の時間変動に関する分析
3. 学会等名 2021年度日本建築学会大会 (東海)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 川島理沙、池田侑樹、大宮哲、新屋啓文、大風翼
2. 発表標題 WRF解析による北海道弟子屈町周辺の谷地形が風況場に及ぼす影響の検討
3. 学会等名 2021年度日本建築学会大会（東海）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 増澤 諭香、新屋 啓文、大宮 哲、大風 翼
2. 発表標題 2018年度冬期の北海道川上郡弟子屈町における吹雪の長期観測
3. 学会等名 雪氷研究大会（2019・山形）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 新屋 啓文、大風 翼、根本 征樹、西村 浩一
2. 発表標題 雪粒子の空気輸送モデルによる地吹雪メカニズムの解明 - その5 間欠性から連続性への輸送形態の変化 -
3. 学会等名 雪氷研究大会（2019・山形）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大風 翼、新屋 啓文、大宮 哲、砂子 宗次郎、西村 浩一
2. 発表標題 1つの吹雪イベントを対象とした2次元フェンス周辺の吹きだまり観測
3. 学会等名 雪氷研究大会（2019・山形）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大風 翼、持田 灯
2. 発表標題 LES による市街地風環境予測のためのデジタルフィルタを用いた人工的な流入変動風の生成
3. 学会等名 第 2 5 回風工学シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 新屋 啓文、大風 翼、西村 浩一
2. 発表標題 雪粒子の空気輸送モデルによる地吹雪メカニズムの解明 - その3 風速増加に伴う輸送形態の変化 -
3. 学会等名 雪氷研究大会(2018・札幌)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大風 翼、新屋 啓文、大宮 哲、根本 征樹
2. 発表標題 雪粒子の空気輸送モデルによる地吹雪メカニズムの解明 - その4 ハイスピードカメラによるスプラッシュ過程の把握 -
3. 学会等名 雪氷研究大会(2018・札幌)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 新屋啓文、大宮哲、根本征樹、大風翼
2. 発表標題 低温風洞におけるスプラッシュ過程の測定
3. 学会等名 2 0 1 8 年度日本雪氷学会北信越支部研究発表会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	大宮 哲 (Omiya Satoshi) (60718451)	国立研究開発法人土木研究所・土木研究所(寒地土木研究所)・研究員 (82114)	
研究 分担者	新屋 啓文 (Niiya Hirofumi) (80794982)	新潟大学・災害・復興科学研究所・准教授 (13101)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------