

令和元年6月24日現在

機関番号：32708

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2015～2018

課題番号：15H04089

研究課題名（和文）住民参加型風環境マップ作成プロジェクトによる新たな風環境評価尺度の提案

研究課題名（英文）Proposal of the new wind force scale based on Local residents-participation-type project of creating wind environmental map

研究代表者

義江 龍一郎（YOSHIE, Ryuichiro）

東京工芸大学・私立大学の部局等・学長

研究者番号：60386901

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 12,800,000円

研究成果の概要（和文）：携帯風速計とインターネットを用いた住民参加型風環境調査システムを構築した。そのデータを集計し風環境マップとして本研究サイトで公開した。またこの調査で得られた約3500個の風速および自由記述データをテキストマイニングにより分析し、樹木、屋外設置物、髪・帽子・衣服、傘、歩行・風速感、自転車の各々を対象とした6つの新たな風力階級表を提案した。

また別途行った風速と温湿度と体感の実測調査より得られた約2000個のデータの分析結果から、最大瞬間風速に次いで気温が風の体感に大きな影響を与えることや、湿度の影響は小さいことが明らかとなった。さらに気温の影響を組み入れた風環境評価指標を提案した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

住民参加型風環境調査結果を、風環境マップとしてwebで公開するとともに、地域住民集会でも報告し意見交換することで、地域社会の風環境への理解の促進と認識の共有化に寄与することができた。また住民の自由記述のテキストマイニング分析に基づき提案した6つの風力階級表により、多様な事象・人体感覚と風速との関係を、一般の方たちにもわかりやすく示すことができたことは、学術的にも社会的にも意義がある。

さらに本研究で実施した風洞実験や数値流体解析で強風域と評価された地点が、住民参加型風環境調査で強風と申告された地点とよく対応することが確認され、環境影響評価（環境アセスメント）手法の妥当性を示すことができた。

研究成果の概要（英文）： We developed a citizen-participatory wind environment investigation system using pocket anemometers and the Internet. A wind environment map was created based on the data measured by the participants and it was posted for public view on the website managed by the study team. We analyzed the descriptions provided by the citizen participants using text mining method, and developed six wind force scales for (1) Trees, (2) Outdoor objects, (3) Hair, hats (caps), clothing, (4) Umbrellas, (5) Feeling of walking and wind speed, and (6) Bicycles.

Furthermore, in order to clarify the effects of temperature and humidity on human wind perception and develop a new wind environment scale considering those effects, another outdoor field measurement was conducted. We analyzed more than 2000 data obtained by the field measurement. As a result, it became clear that temperature as well as gust wind speed affect human wind perception, and humidity has almost no effect on it.

研究分野：環境工学

キーワード：地球・都市環境 風環境

1. 研究開始当初の背景

大規模な高層ビルを建設する際には、事前に風洞実験結果と最寄りの気象観測点における風の統計データを用いて、風速の発生確率に基づく風環境評価が行われている。その手続きは確立され適切に行われているはずであるが、ビル風の問題は全国各地で起きており、訴訟にいたる例も見られる。最近では武蔵小杉や二子玉川において、歩行障害や傘が壊れる等の被害が頻繁に発生しているとの苦情が寄せられている。

わが国では、「日最大瞬間風速の超過確率に基づく風環境評価尺度」と、「毎10分間風速の累積頻度に基づく風環境評価尺度」が広く用いられている。これらは1980年代からおよそ30年にわたって数多く使われてきており、両者が風環境評価に果たしてきた役割は大きい。しかし、こうした風環境評価尺度は、一般市民にとってわかりにくいという問題がある。「ランク2や領域Bで住宅地相当なので大丈夫です」と説明されても、実際に風によって生じる現象を想像しにくいいため、理解できない状況がほとんどである。またこれらの風環境評価尺度は強風障害を対象としており、風通しの悪化に伴う都市のヒートアイランド現象の助長や大気汚染物質の滞留等の弱風障害は対象としておらず、気温や湿度等の影響も考慮されていない。

2. 研究の目的

環境アセスメントの手続きがなされたにもかかわらずビル風の問題が深刻化している地区を対象として、携帯型風速計やインターネットを用いた住民参加型の風環境調査システムを構築し3年間の調査を実施する。併せて風洞実験、数値流体解析を実施し、環境アセスメント時の予測と現実との乖離の原因を明らかにする。

この住民参加型の調査に基づき風環境マップを作成してwebに公開することで、強風時に回避すべき場所や夏期に心地よい風が吹く場所等が明確になるなど、地域住民の風環境への理解の促進と認識の共有化をはかる。さらに住民参加型風環境調査に基づき、一般市民にとってわかりやすく、気温や湿度等の影響も加味した新たな風環境評価尺度を提案する。

3. 研究の方法

(1) 住民参加型風環境調査方法

① 調査対象地域・調査参加者

活発に再開発が実施され、大型商業施設や高層マンションが数多く建設されている神奈川県川崎市武蔵小杉地区を対象とした。この地区ではビル風による歩行障害や傘が折れる等の被害が発生し、住民からの苦情が市役所に多数寄せられている。調査参加者は、武蔵小杉地区で生活、または同地区を利用する住民である。参加者の募集は、ホームページ、タウン情報紙や折り込みチラシの配布によって行った。応募してきた参加者が中心となり、本調査チームの学生と合わせて約30人で調査を行った。

② 風速測定方法と記録方法

調査参加者に携帯型風速計を配布し、時と場所は指定せず、関心のある場所、任意の時刻の風速計測（1回の計測時間は約1分間）と、その時目撃した事象や風に対する感想の記録を依頼した。目撃した事象や風に対する感想に関しては、人それぞれの観点からの風に対する意見を得るために自由記述とした。なお携帯型風速計の測定精度については風洞実験で確認した。

③ 風環境マップの作成方法

調査参加者による風速測定結果や目撃した事象・感想の記述を集積して風環境マップを作成する。その具体的な作成手順は以下の通りである。

- ・調査参加者に、Google マイマップ上で計測結果を記入してもらう。記入内容は、測定を行った場所、日付、時刻、最大瞬間風速、平均風速の値と、その時目撃した事象や感想である。
- ・調査参加者1人1人の測定データを毎月集計して、1つの風環境マップとしてまとめ、すべての人が閲覧可能なかたちで、本調査チームの運営するWebサイトで公開する。

④ テキストマイニングによる自由記述データの分析方法と新たな風力階級表の作成方法

住民参加型風環境調査で得られた約3500個の自由記述データを、KHコーダーというテキストマイニングソフトウェアに読み込ませ、その記述を、①樹木、②屋外設置物、③髪・帽子・衣服、④傘、⑤歩行・風速感、⑥自転車のグループに分類する。さらに、上記6個の項目にグループ分けされた記述を風力階級（最大瞬間風速10m/sまでは2m/sピッチ、最大瞬間風速10m/s以上は、計測数が少ないため10~15m/s、15m/s以上）で分類する。次にその風力階級に含まれる記述に対して、KHコーダーを用いてテキストマイニングを行い、重要性の高い単語を抽出する。その重要性が高い単語を含む文章をまとめて、上記①~⑥のそれぞれに関する6つの風力階級表を提案する。

(2) 気温、湿度等が風の体感に与える影響調査方法

東京工芸大学および大妻女子大学の学生が、携帯型風速計と小型温湿度データロガーを使用して、任意の時刻・場所で約1分間の測定を行い、それに引き続き、測定日時、平均風速、最大瞬間風速、温度、湿度、着衣量と共に、図1に示す各評価項目を基に体感申告の段階評価を記録した。風の強弱の評価は5段階スケール、感じ方の段階評価はASHRAEの7段階スケール、快適性の段階評価には被験者実験の際に一般的に使用されている4段階スケールを用いた。また日射が測定者自身に当たっているか否か、髪、服装の乱れ度合いも評価項目とした。

(3) 風洞実験方法

① 風洞実験模型

武蔵小杉のビル風が問題となっている地区を対象として、半径 500m の範囲を 1/500 の縮尺で模型化した。模型写真を図 2 に示す。

② 使用風洞

東京工芸大学・風工学研究センターの大型乱流境界層風洞（測定断面幅 2.2m×高さ 1.8m、風路長 19.1m、ターンテーブル半径 1m）を用いた。

③ 測定点

高層建物周辺を中心に合計 208 点の測定点を設けた。

④ 測定方法

多点サーミスタ風速計を用いて 16 風向の測定を行った。また特にビル風の苦情が多い 2 地点については、風速変動の状況を明らかにするために熱線風速計による測定も行った。

(4) 数値流体解析方法

① 数値解析モデル

図 3 に示すように、武蔵小杉地区を対象とした半径 800m の範囲の CAD データを用いて数値解析モデルを作成した。

② 解析格子

3 重合格子を用いて格子分割を行った。解析格子断面を図 4 に示す。一番外側の領域、黄線で囲まれた領域、赤線で囲まれた領域の 3 重合格子としている。赤線で囲まれた領域の格子幅は 1.4m×1.4m、格子高さ 1.1m という細かい分割としている。格子数は合計約 2000 万である。

③ 乱流モデル

当初の計画では Large Eddy Simulation を用いて解析を行う予定であったが、解析格子数が約 2000 万にもなり、膨大な計算時間がかかるため、 $k-\epsilon$ モデルを用いることとした。

4. 研究成果

(1) 風環境マップの公開と地域住民を対象とした研究集会

調査参加者 1 人 1 人の測定データを集計して、月毎に風環境マップを作成し、図 5 に示す Web サイトで毎月公開した。また地域住民を対象とした研究集会を 2 回開催した。これらによって地域住民の風環境への理解が進み、認識が共有化され、地域社会に貢献することができた。

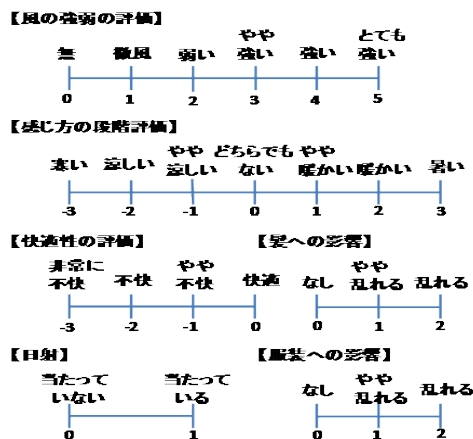


図 1 体感指標評価表



図 2 風洞実験模型

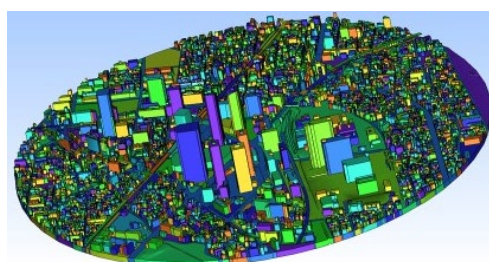


図 3 数値解析モデル

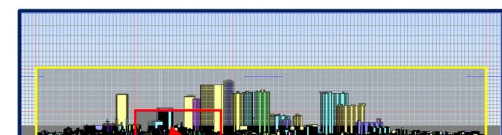


図 4 格子分割



図 5 本調査チームが運営し公開している Web サイト

(2) 新たな風力階級表の提案

住民参加型風環境調査で得られた約 3500 個の自由記述データをテキストマイニングによって分析し、その結果に基づき提案した 6 つの風力階級表を表 1 に示す。既往の風力階級表では、樹木や歩行に関する表現は見られるものの、その他の事象・感覚に関する記述は非常に限られている。これに対して、新たに提案した風力階級表は、多様な事象に対して、住民の生の声を取り入れた、住民にとってわかりやすいものになっていると考えられる。この風力階級表があれば、既往の「確率的風環境評価尺度」の中に示されている風速の時に、実際にどのような現象が発生し、どのような感覚を抱くのかを想像する手助けとなる。

表 1 提案した風力階級表

① 樹木			④ 傘		
階級	風による影響・被害内容	最大瞬間風速 (m/s)	階級	風による影響・被害内容	最大瞬間風速 (m/s)
1	木の葉がたまに揺れる程度。草木が揺れる。	0-2	1	問題なく傘をさせる。	0-2
2	細い木の枝が揺れる程度。木の葉が幹に揺れる。	2-4	2	傘はさせるが、風に向かって斜めにさす。	2-4
3	植物がザーンと揺れる。木の枝が揺れる程度。	4-6	3	日傘が飛ばされそうになる。傘がひっくり返りそうになる。	4-6
4	木立の太い枝が揺れる程度。木の葉の揺れる音が聞こえる。	6-8	4	傘がひっくり返りそうになる。道端に折れた傘が転がっている。	6-8
5	木立が少し揺れて、体に強い風の力を感じる。木立の揺れる音が聞こえる。	8-10	5	日傘がさせない。傘では雨を防げない。	8-10
6	木立が大きく揺れ、激しくなびく。	10-15	6	傘が壊れるほどの風。日傘がおちよこになる。	10-15
7	木立が騒ぐ音が聞こえる。葉がちぎれて飛んでいく。木々が音を上げて揺れる。細い枝が折れる。	15以上	7	傘を両手で握っていないと飛ばされそうになる。	15以上

② 屋外設置物			⑤ 歩行・風速感		
階級	風による影響・被害内容	最大瞬間風速 (m/s)	階級	風による影響・被害内容	最大瞬間風速 (m/s)
1	看板や旗は動かない。高いところにある旗は若干揺れる。	0-2	1	全く風を感じない。わずかに顔に風を感じる程度。	0-2
2	旗はゆらゆらと揺れる。高いと事旗はよく揺れる。	2-4	2	顔に風を感じる。歩行の支障にはならない。	2-4
3	旗がバサバサとはためく。	4-6	3	風は少し強いが大人の歩行には問題ない。子供はよろつく程の風。	4-6
4	電線が揺れる。	6-8	4	背中を押されるような風。向かい風だと少し歩きにくい。	6-8
5	電線が大きく揺れる。商店街ののぼりがよくはためく。	8-10	5	急に吹くと倒れそうになる。体を持って行かれるような強風。	8-10
6	お店ののぼりはしまわれる。	10-15	6	老人がよろけてしまう。体が揺れるほど強い風。	10-15
7	信号や看板が揺れる。	15以上	7	犬が飛ばされてしまいそうな風。身をかがめて歩行しなくては危険。普通の歩行困難。	15以上

③ 髪・帽子・衣服			⑥ 自転車		
階級	風による影響・被害内容	最大瞬間風速 (m/s)	階級	風による影響・被害内容	最大瞬間風速 (m/s)
1	記述無し	0-2	1	自転車走行に支障なし。	0-2
2	若干髪が風になびく程度。帽子が飛ばさずともない。上着の裾がなびく程度。	2-4	2	危なげなく自転車に乗る。止めた自転車が倒れることはない。	2-4
3	少々髪が乱れる程度。時々帽子が飛ばされそうになるくらい強い風が吹く。フリースカートの裾がひらひらする程度。	4-6	3	自転車に乗って髪やネクタイが乱れる。子供の自転車が倒れそうになる時がある。	4-6
4	髪が乱れる。帽子が飛ばされてしまう。スカートの裾を抑えて歩くくらい強い風。上着が乱れる。	6-8	4	自転車走行は少し危険。止めた自転車が倒れる。服や帽子を押さえながら自転車をこぐ。	6-8
5	髪が非常に乱れる。	8-10	5	風で止めた自転車やバイクが倒れる。後ろに子供を乗せる自転車は危険。	8-10
6	記述無し	10-15	6	自転車が前に進まない。自転車走行危険。	10-15
7	記述無し	15以上	7	自転車に乗る人が立ち往生する。自転車走行非常に危険。	15以上

(3) 気温、湿度等が風の体感に与える影響

本調査によって 2000 個以上のデータが収集された。風の強弱の評価を目的変数とし、気温、湿度、日射の有無、最大瞬間風速を説明変数として回帰分析を行った結果、最大瞬間風速に次いで気温が風の強弱の評価に大きな影響を与えること、湿度の影響は小さいことが明らかとなった。また快適性の評価についても同様の結果となった。

そこで、最大瞬間風速と気温の両方が風の体感に及ぼす影響についてさらなる分析を行った。図 6 は気温を 5 °C 刻みで分類して、風の強弱の評価と最大瞬間風速の関係を分析した結果である。最大瞬間風速が高くなると、風の強弱の評価が「微風」から「とても強い」へ変化するが、同評価における最大瞬間風速は気温によって異なる。特に、「強い」、「とても強い」と評価した時の最大瞬間風速の違いが大きい。しかしながら、強風のデータが少ないため、今後も調査を継続しデータを増やしていく必要がある。

また、全てのデータを「快適」、「やや不快」、「不快」、「非常に不快」の 4 種類に分類し、それぞれの評価において、気温と最大瞬間風速の関係を分析した。そして分析結果を基に新たに提案した風環境評価指標を図 7 に示す。快適領域は気温 15.0 °C ~ 28.4 °C、風速 0.2

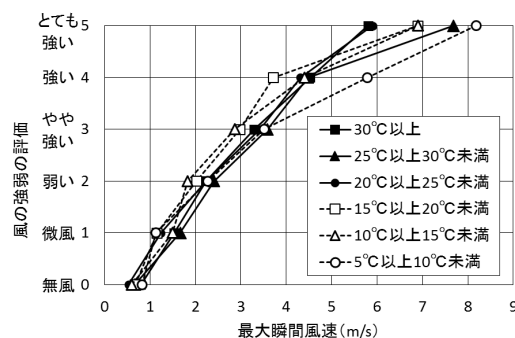


図 6 風の強弱の評価と最大瞬間風速の関係

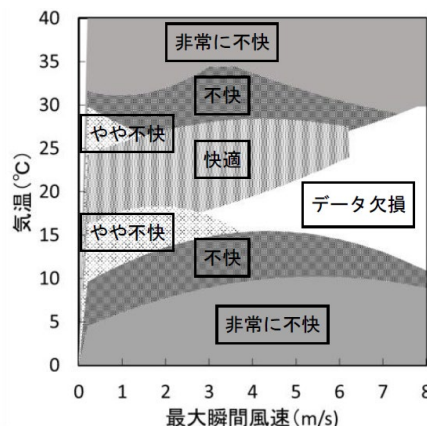


図 7 気温の影響を考慮した風環境評価指標

m/s～6.2 m/s の範囲になる。「やや不快」と「不快」の領域は快適領域の周辺に分布しており、「非常に不快」の領域は快適領域から最も離れた場所に位置している。白色の部分は、データが不足しているため、分析できなかった領域である。以上のように、被験者による風環境調査を通じて、風の感じ方に影響を与える環境要素の寄与度を明らかにし、弱風障害から強風障害までをカバーし、風の感じ方に大きく関わる気温の影響を組み入れた新たな評価指標を提案した。今後、実際の風環境計画に役に立つ指標として使用されることが期待できる。

(4) 環境アセスメント時の予測と現実との乖離の原因

図8～図10に示すように、住民参加型風環境調査で強風が申告されることが多い地点は、風洞実験や数値流体解析で強風域と評価された地点と良く対応していることがわかった。また同地区で過去に行われた13件の風環境アセスメント結果も1件を除き対応していることも明らかとなった。すなわち風環境アセスメントの妥当性が確認された。しかし、この例外の1件は、同地区で強風被害の苦情が寄せられているAビル近傍の風環境を不当に低く評価しており、これが風環境アセスメントに対する住民の不信感の原因となっていることがわかった。この環境影響評価書では、風環境の確率的評価に必要な基準風速のワイブル係数やガストファクター等も記載されておらず、後に予測と現実の乖離が生じた原因究明も不可能となっている。そこで研究代表者が委員を務める東京都と川崎市の環境影響評価審議会において、こうしたデータの記載を義務づけることを提言し、それが確実に実行されるようになってきた。

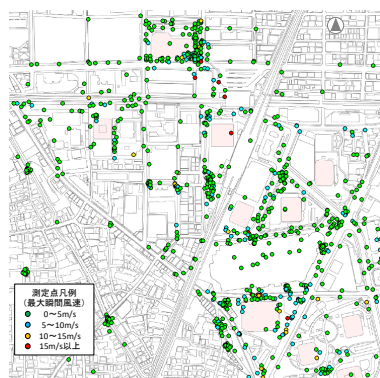


図8 住民参加型
風環境調査結果

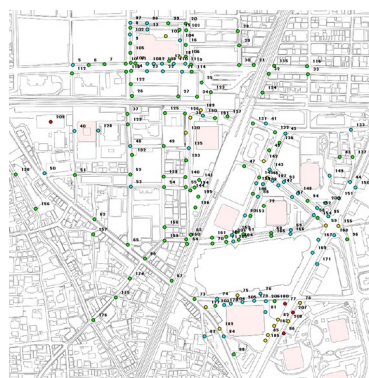


図9 風洞実験結果

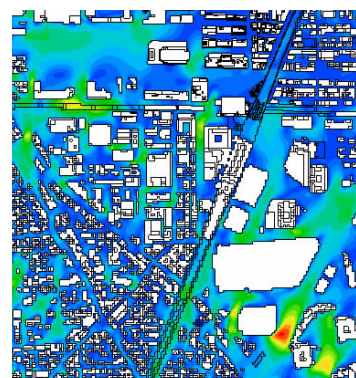


図10 数値流体解析結果
風向SSW(卓越風向)

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計9件)

- ① 白澤 多一、義江 龍一郎、藤井 邦雄、住民参加型の風環境調査事例、日本風工学会誌、査読無、43巻2号、2018、138-142、<https://doi.org/10.5359/jawe.43.138>
- ② 白澤 多一、吉田 真紗子、藤井 邦雄、義江 龍一郎、武蔵小杉地区を対象とした住民参加型風環境調査(その1)風環境マップの作成、日本風工学会年次研究発表会梗概集、査読無、2017、97-98、https://doi.org/10.14887/jaweam.2017.0_97
- ③ 吉田 真紗子、白澤 多一、藤井 邦雄、義江 龍一郎、武蔵小杉地区を対象とした住民参加型風環境調査(その2)住民の自由記述に基づく風力階級表の提案、日本風工学会年次研究発表会梗概集、査読無、2017、99-100、https://doi.org/10.14887/jaweam.2017.0_99
- ④ 白澤 多一、義江 龍一郎、藤井 邦雄、福留 伸高、住民参加型風環境マップの作成 その3 樹木に関する住民の記述を用いた風力階級表と風環境マップの作成、日本建築学会大会学術講演梗概集、査読無、D-2、2017、919-920
- ⑤ Taichi Shirasawa、Ryuichiro Yoshie、Kunio Fujii、Nobutaka Fukudome、Wind environmental map and wind force scale based on free description by local residents、Proceedings of 9th Asia-Pacific Conference on Wind Engineering、査読無、2017、<https://doi.org/10.17608/k6.auckland.5630950.v1>
- ⑥ 白澤 多一、義江 龍一郎、藤井 邦雄、福留 伸高、吉田 真紗子、住民参加型風環境マップの作成 その1 風環境マップの作成方法、日本建築学会大会学術講演梗概集、査読無、B-2、2016、783-784
- ⑦ 吉田 真紗子、義江 龍一郎、藤井 邦雄、白澤 多一、福留 伸高、住民参加型風環境マップの作成 その2 風速に対する住民意識の調査結果、日本建築学会大会学術講演梗概集、査読無、B-2、2016、785-786
- ⑧ 義江 龍一郎、三浦 翔、望月 政法、風環境評価のための標準上空風データの整備に向けた領域気象モデル WRF の検証、日本風工学会論文集、査読有、40巻、2015、113-122、<http://doi.org/10.5359/jwe.40.113>
- ⑨ 白澤 多一、義江 龍一郎、藤井 邦雄、吉田 真紗子、ポケットサイズ風速計によるビル風の簡易測定、日本建築学会大会学術講演梗概集、査読無、D-2、2015、675-676

[学会発表] (計7件)

- ① 白澤 多一、吉田 真紗子、藤井 邦雄、義江 龍一郎、武蔵小杉地区を対象とした住民参加

- 型風環境調査(その1)風環境マップの作成、日本風工学会年次研究発表会、2017
- ② 吉田 真紗子、白澤 多一、藤井 邦雄、義江 龍一郎、武蔵小杉地区を対象とした住民参加型風環境調査(その2)住民の自由記述に基づく風力階級表の提案、日本風工学会年次研究発表会、2017
 - ③ 白澤 多一、義江 龍一郎、藤井 邦雄、福留 伸高、住民参加型風環境マップの作成 その3 樹木に関する住民の記述を用いた風力階級表と風環境マップの作成、日本建築学会大会学術講演会、2017
 - ④ Taichi Shirasawa, Ryuichiro Yoshie, Kunio Fujii, Nobutaka Fukudome, Wind environmental map and wind force scale based on free description by local residents, 9th Asia-Pacific Conference on Wind Engineering, 2017
 - ⑤ 白澤 多一、義江 龍一郎、藤井 邦雄、福留 伸高、吉田 真紗子、住民参加型風環境マップの作成 その1 風環境マップの作成方法、日本建築学会大会学術講演会、2016
 - ⑥ 吉田 真紗子、義江 龍一郎、藤井 邦雄、白澤 多一、福留 伸高、住民参加型風環境マップの作成 その2 風速に対する住民意識の調査結果、日本建築学会大会学術講演会、2016
 - ⑦ 白澤 多一、義江 龍一郎、藤井 邦雄、吉田 真紗子、ポケットサイズ風速計によるビル風の簡易測定、日本建築学会大会学術講演会、2015

[その他]

ホームページ等

武蔵小杉の風環境マップ

<https://www.kaze-map.org/>

6. 研究組織

(1) 研究分担者

研究分担者氏名：白澤 多一

ローマ字氏名：(SHIRASAWA, taichi)

所属研究機関名：大妻女子大学

部局名：社会情報学部

職名：准教授

研究者番号(8桁)：40423420

研究分担者氏名：グエン トゥアン・アイン

ローマ字氏名：(Nguyen, Tuan・Anh)

所属研究機関名：東京工芸大学大学院

部局名：工学研究科

職名：研究員

研究者番号(8桁)：60727254

研究分担者氏名：福留 伸高

ローマ字氏名：(FUKUDOME, nobutaka)

所属研究機関名：東京工芸大学

部局名：工学部

職名：助教

研究者番号(8桁)：30599808

研究分担者氏名：玄 英麗

ローマ字氏名：(Xuan, yingli)

所属研究機関名：東京工芸大学

部局名：工学部

職名：助教

研究者番号(8桁)：20770564

(2) 研究協力者

研究協力者氏名：藤井 邦雄

ローマ字氏名：(FUJII, kunio)

※科費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。