

京都大学防災研究所で行った「風」の研究を振り返って

Looking Back on My “Wind” Research Conducted at Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University

丸山 敬

Takashi MARUYAMA

Synopsis

For about 40 years, from the time I began my research as a student at Kyoto University until my retirement in March 2024, I conducted most of it at the Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University. The research is mainly related to architectural wind-resistant structures and wind engineering, but since there are few researchers studying on wind in Japan, I have also done various research related to wind. Some of the research was outside my area of expertise, and I believe that I was able to accomplish my research with the cooperation and assistance of many people. Below, I look back on the research I have conducted on wind, along with memories with many of those people.

キーワード: 風, 研究, 振り返り

Keywords: wind, research, looking back

1. はじめに

著者が京都大学の学生として研究を始めてから令和6年3月に定年退職するまでの約40年間、そのほとんどを京都大学防災研究所において行ってきた。研究内容は主に建築耐風構造、風工学に関するものであるが、国内の風に関する研究を行っている研究者が少ないこともあり、その他「風」に関係する様々な研究に携わった。その中には自身の専門外の内容もあり、多くの方の協力、援助により研究を成し遂げられたと思っている。以下では、それら多くの方々との思い出とともに、これまで著者が行ってきた「風」に関する研究を振り返る。



Fig. 1 Soaring in the sky with a glider
(by courtesy of Kyoto University Glider Club)

2. 風の研究を目指したきっかけ

京都大学の学部4回生になり、研究室配属を決めるにあたって建築学科の各研究室を訪問した際、防災研究所には完成したばかりの境界層風洞実験装置があった。当時、耐風構造研究部門の助手をされていた谷池義人先生に研究施設の案内をしていただき、

“今この研究室にすれば、この装置、使い放題ですよ！”と言われたことが印象に残った。私は子供のころから、パイロットになって空を飛ぶのが夢だったので、空や風のことは興味があり、谷池先生の言葉にみごと釣り上げられたわけである。ちなみに、空を飛ぶ夢は、大学のグライダー部に入って叶えることができた (Fig.1)。

3. 現象の解明

3.1 風洞実験

風洞につられて研究室を決めた私であるが、配属後早速、風洞を使って地面上に吹く風の気流性状を測定することになった。防災研究所の風洞 (Fig.2) は境界層風洞と呼ばれる長い測定部分を持つもので、そこに市街地模型などを敷き詰めて地表面上の凸凹を再現することにより地面付近の自然風の持つ気流性状を再現できる装置である。当時はまだ建物の耐風設計用の風荷重を決めるための地面付近の風速分布に関する情報が乏しく、学生だった私は部門長であった石崎撥雄教授の指導のもと、地表面粗度と呼ばれる地表面の凹凸を再現した種々の模型を風洞内に敷き詰め (Fig.3)、熱線風速計を用いて地面付近の風速を測定した (石崎撥雄ら, 1984)。

地面付近の風の性状は主に風上側の地表面粗度の影響を受けて決まるので、Fig.4に示すように風上側にビルなどの障害物があると、風下では障害物との相対位置により風速分布が変化する。一様な凹凸であれば、障害物の高さの2倍程度で位置による違いはなくなるが、実際の地表面粗度は一様ではないので、そのような場合に、風上側の地表面粗度の影響をどのように取り込んで風荷重推定用の風速を求めるかということがそれ以降の私の研究課題となり、博士論文 (丸山敬, 1994.3) につながるようになった。

3.2 自然風中での観測

防災研究所は潮岬に観測フィールドを持っており、当時耐風構造研究部門では自然風の観測および風圧測定が行われていた (Fig.5)。私が学生当時助教授であった桂順治先生 (後に耐風構造部門教授) は種々の異なる縮尺の建物模型を用いた観測を行われており、自然風下での測定結果は風洞実験で得られる測定結果とは異なり、接近する気流の風速や乱流特性により建物周りの風圧分布が複雑に変化することを明らかにされていた。風洞で作られた乱流場の風向風速変化は自然風中のそれよりも小さいので、自然風中における観測結果を再現できるような乱流場を流体の数値計算で再現する方法の必要性を実感し、後の乱流場の数値シミュレーションの研究につながった。

私が研究を行ったこの40年ほどの間の測定装置の進歩と小型化はめざましく、自然風の観測に関して精度および測定範囲が格段に向上し、音波を使うソーダー、光を使うライダー、電波を使うレーダーなどが普及した。そこで、それらの測定装置を用いて地上上空の風速場、雲や降雨の観測を行った。日本大学の岩谷祥美先生や東京工芸大学の田村幸雄先生



Fig. 2 Boundary layer wind tunnel

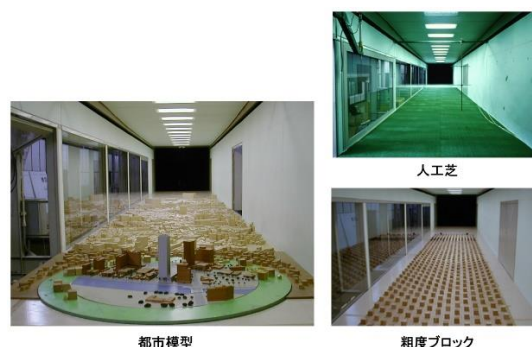


Fig. 3 Wind tunnel tests with various surface roughness

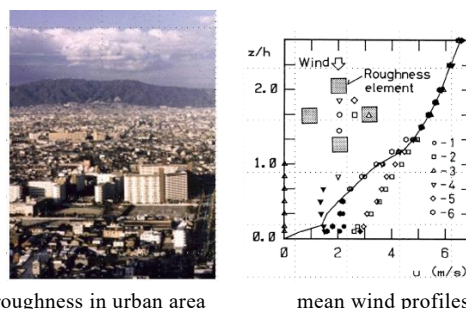


Fig. 4 Configuration of surface roughness in urban area and mean wind profiles behind obstacles



Fig. 5 Observation field at Shionomisaki measuring wind velocity and pressure on the building models

とはドップラーソーダーを用いて平塚市上空の風速場を観測し、風速や大気の安定度による風速の鉛直分布形状の変化を調べた (岩谷祥美ら, 2005)。琉球大学の山田広幸先生とは前線や台風通過時の風速場の変化を気象レーダーとドップラーライダーを用い

て沖縄で観測し (Fig.6), 積雲下の対流を伴う強風場の特性を明らかにした. また, 京都大学防災研究所の石川裕彦先生, 竹見哲也先生とは, 気象モデルを用いて求めた広域風況場を境界条件とした大気の数値解析を行って地上付近の強風場の解析 (Fig.7) を行い観測結果との比較を行った. さらに, 防災研究所の山口弘誠先生とは, 積雲下の対流場のシミュレーションにより降雨を伴う場合の下降風の影響 (Fig.8) を考察した (丸山ら, 2021).

建築物に被害を発生させるような強風場の解析では, 十分に乱れた中立状態を想定して温度の影響は考慮しないことが多いが, 自然風の解析を行う場合は温度の影響を扱うことが不可欠となる. 日本風工学会主催の勉強会では九州大学の屋裕二先生と大気境界層を気象学の立場から学ばせてもらった (Fig.9). 先生は, 温度成層風洞による乱流境界層の研究をされ, また, 風力発電用の風車の開発にも取り組み, 物体周りの流れ場の数値解析に関しても多くを教えていただいた.

3.3 強風災害調査

強風による被害の実態を知るために多くの強風被害の現地調査を行った (Fig.10). 全国におよぶ強風被害をもたらした1991年19号台風や, 奈良県を中心に関西に強風災害をもたらした1998年7号台風, 宮古島をはじめとする南西諸島に強風被害をもたらした2003年14号台風, 厳島神社を含む広島湾沿岸に強風被害をもたらした2004年18号台風, 関西一円に強風だけではなく高潮被害をもたらした2018年台風21号などの台風だけでなく, 2006年9月の宮崎県延岡市, 2006年7月の岐阜県瑞浪市, 2008年3月から5月にかけての鹿児島県内, 2012年5月の茨城県つくば市などで発生した竜巻による災害調査を行った. 被害の実体から, 建物の強風被害は, 屋根瓦など外装材の被害にみられるような風圧力に起因する被害と, ガラスの破壊などのような飛来物による被害に大別できることがわかり, 強風時の自然風, および, 建物周りの風圧力の特徴を知るだけでなく, 飛来物の飛散性状も明らかにする必要性を実感し, 自身の研究方針を決めるきっかけとなった.

3.4 数値解析

強風被害が発生する際の自然風の特徴を知るためには地表面粗度上に発達した乱流境界層内の気流性状を知る必要がある. 観測や実験による測定で乱流場の時空間構造の詳細を知るのは困難であるため, 数値流体計算による研究にも着手した. 地上付近の乱流特性は, 粗度形状の影響を大きく受けるため, 建物や植物など, 地面上に存在する物体形状の影響

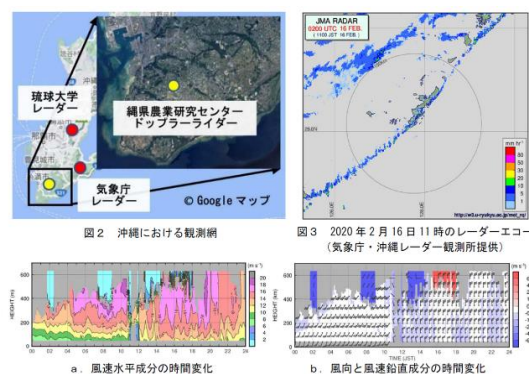


Fig. 6 Observation of wind field during a front passing over Okinawa Island by using doppler lidar and weather radar

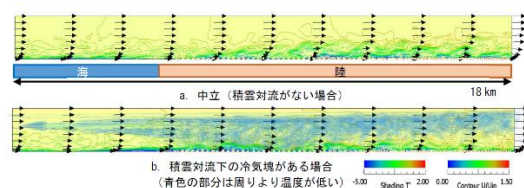


Fig. 7 Numerical simulation of strong wind field accompanied by downdraft over surface roughness

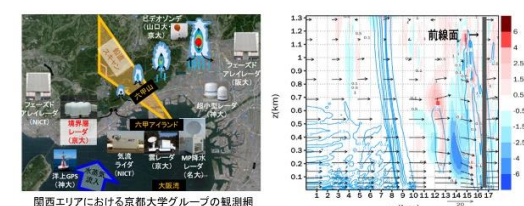


Fig. 8 Observation of wind field under cumulus convection and its numerical simulation

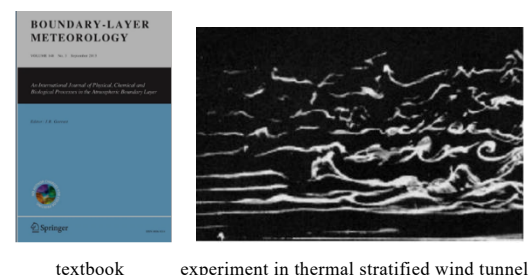


Fig. 9 Seminar of atmospheric boundary layer



Fig. 10 Investigating strong wind disaster by typhoon

を取り込める計算手法が必須となる．そこで，京都大学建築学科の平岡久司先生が開発したキャノピーモデルを用いた計算手法を解析に用いることとし（平岡久司ら，1989，1990），市街地における建物形状に対して，キャノピーモデルで使われるモデル係数を風洞実験により最適化した（丸山敬，1995）．これにより，地上に分布する種々の建物形状を取り込んで，上空に発達する乱流境界層内の風速や乱れの分布を予測することができるようになり（丸山敬，1998.11），地表面粗度の変化に対応する耐風設計用の風速分布を求める方法を開発し，博士論文（丸山敬，1994）としてまとめることができた．また，それを用いて実市街地上空の気流性状の解析を行った．

（Fig.11，丸山敬，1998.12）

その後，物体を含む固気混相流場を解析できるキャノピーモデルを用いた数値計算手法は，平均流れ場を解析できる $k-\epsilon$ 2方程式乱流モデルだけでなく，非定常な乱流場を解析できるラーズ・エディ・シミュレーション（LES）に応用・発展させ（丸山敬，2004），格子フェンス周囲の乱流場の解析（Fig.12，Maruyama，2008）や，岐阜大学の藤井文夫先生とは線状部材の大変形を解析する手法と流れ場の解析を連立させて解き，強風中におけるネットの変形解析を行った（Fig.13，丸山敬ら，2009）．

東北大学の持田灯先生とは，市街地内の道路上の車や街路樹の影響をキャノピーモデルに取り込み，都市内の熱環境の解析手法に応用した（Fig.14，田畑侑一ら，2010）．さらに，沖縄県農業試験センターの玉城鷹氏とは強風時の農業施設の耐風設計用の風荷重評価および被害予測のため，農業用ネットハウスを透過する風の数値解析を行い，強風時の観測結果と比較して解析手法の有用性を確かめた（Fig.15，玉城鷹ら，2018．Tamaki et al., 2021）．また，構造耐力評価機構の高森浩治氏らとともに，斜面に設置された太陽光パネル周りの強風時の風速場の解析を，周囲の植生の影響をキャノピーモデルで取り込んだ変動風速場の数値解析を行って，設計用風圧力を求めた．さらに，地球温暖化時の気候変化により強風被害の変化・将来予測を行う「気候変動リスク情報創成プログラム：京都大学防災研究所中北英一先生が代表の領域テーマD」に参加し，九州大学の前田潤滋先生らとともに台風接近時の広域の強風場に関して観測結果を用いた精度検証を行い，メソスケールモデルを用いた解析結果は10分程度の時間平均風速場の時空間変化をよく再現することを確かめ（Fig.16，丸山敬ら，2008.12），ダウンスケールにより詳細な空間解像度を持った気流場の解析の境界条件として用いることができることを明らかにした（丸山敬ら，2018）．

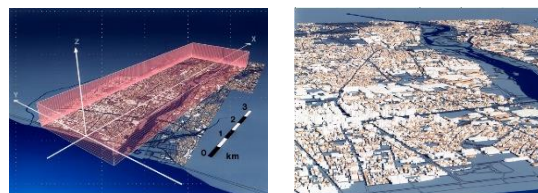


Fig. 11 Configuration of surface roughness around Hiratsuka city for the wind field simulation with canopy model

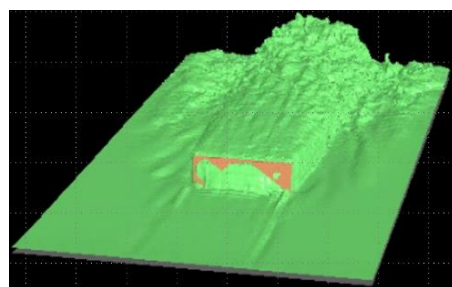


Fig. 12 Turbulent wind field simulation around a wind break

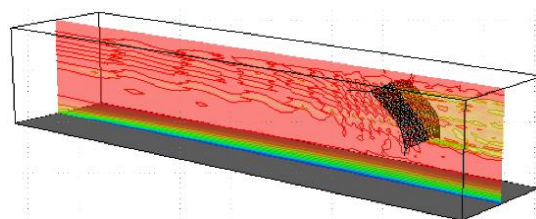
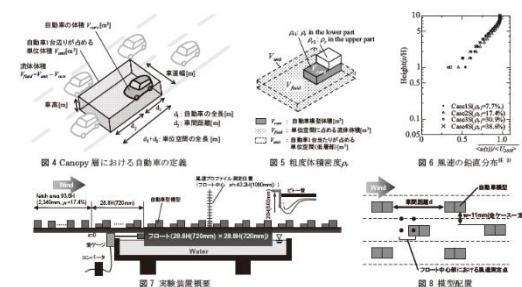
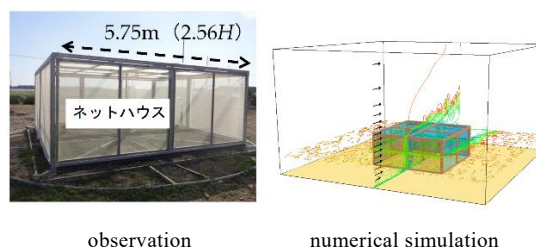


Fig. 13 Coupled analysis of turbulent wind field in a wind tunnel and deformation of a net



numerical calculation incorporating the effect of automobiles and street trees

Fig. 14 Analysis of wind field in an urban street



observation

numerical simulation

Fig. 15 Wind field around agricultural net house

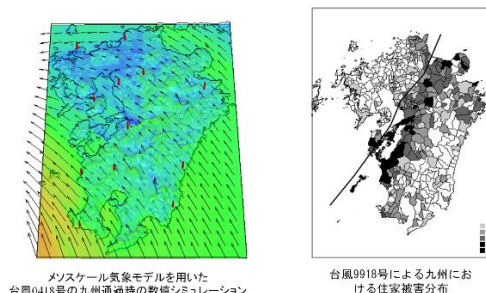


Fig. 16 Reproduction calculation of wind field during typhoon passing and distribution of strong wind damage to houses

4. 研究の発展

4.1 非定常乱流場の数値解析

建物の強風被害を考える場合、接近風の最大値の推定が重要になるので変動風速場を扱う必要がある。数値解析で自然風の乱れを扱う際に、境界条件として風速の時空間変動場を与えることが求められる。この流入境界条件としての変動風速場を生成する方法として、東京工業大学（当時は京都大学大学院学生）の盛川仁先生が開発した、地震波の離散的な観測値をもとに地面の変動場を条件付き確立場の理論を用いて推定する方法を、変動風速場の生成にも応用した（Fig.17, 丸山敬ら, 1994.11）。

さらに、これにより生成した変動風速場を流入境界条件として用い、ドイツ・カールスルーエ大学流体力学研究所に訪問研究員として滞在した際に、Wolfgang Rodi先生らのチームが開発した有限要素法をもとにしたLES流体解析プログラムを用いて、ラフネスブロック下流の乱流境界層内の気流性状の解析を行った（丸山ら, 1996. Maruyama et al., 1999）。また、九州大学内田孝紀先生が有限体積法をもとに開発した流体解析プログラムを用いて複雑地形上空の風速場の解析（丸山敬ら, 2006）や、市街地内の建物周りの非定常乱流場の解析に応用し、強風時の風速・風圧力の予測手法の開発を行った（Fig.18,19）。

非定常な乱流場の数値解析は竜巻内の気流性状の解明にも応用され、計算領域の形状や境界面に与える風速分布を調整することにより、異なる性状の風速場をもった竜巻状の渦を再現し、それぞれの渦内の気流性状を明らかにした（Fig.20, 丸山敬, 2008.6）。

4.2 飛散物の解析

強風時の建物被害を考えた場合、飛来物の飛散性状を明らかにすることも重要となる。特に、竜巻による強風の際には、飛来物の衝突による被害が主な被害となるため、竜巻状の渦内部における物体の飛散が、風速、渦の形状、物体の質量や空力特性によ

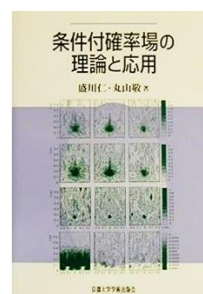


Fig. 17 Generation of fluctuational wind field for a boundary condition of numerical wind simulation

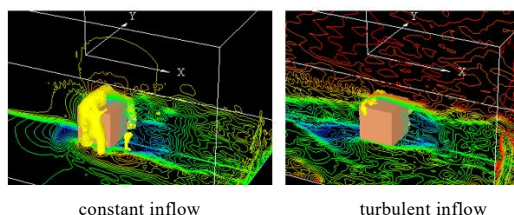


Fig. 18 Analysis of wind fields around bluff body with artificially generated fluctuational wind for boundary conditions

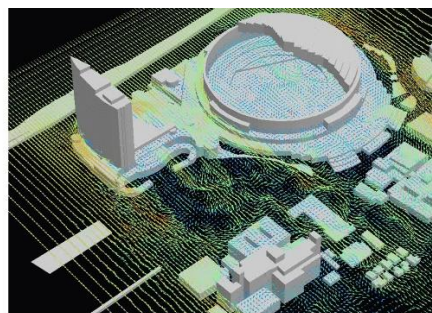


Fig. 19 Numerical simulation around buildings in urban area (by courtesy of Prof. Uchida, Kyushu University)

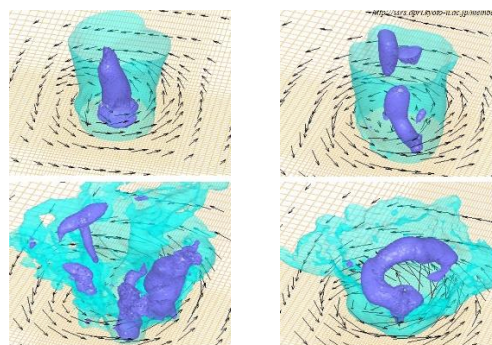


Fig. 20 Generated tornado-like vortices with different flow characteristics

てどのように変化するかを数値流体解析の結果を使って明らかにした（Fig.21, Maruyama, 2011. 丸山敬ら, 2014.12）。

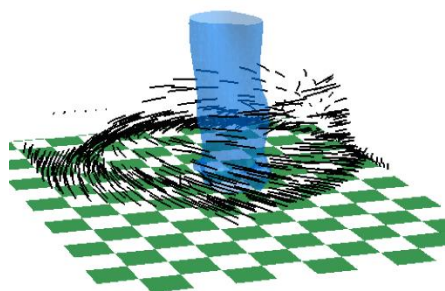


Fig. 21 Simulation of flying debris in a numerically generated tornado-like vortex

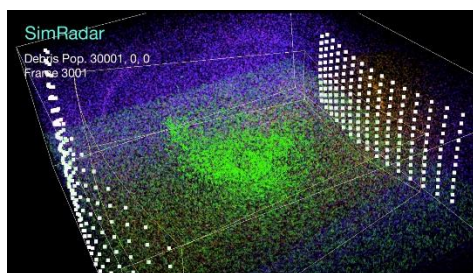
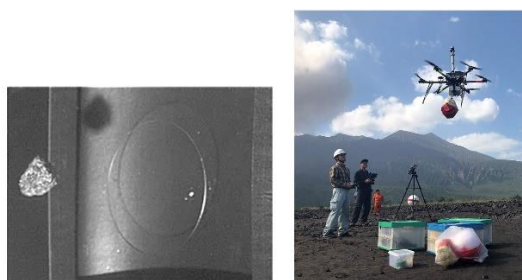


Fig. 22 SimRadar ; An instance of the scatterer distribution in a tornado.



collision test using air-cannon falling test of cinders using drone

Fig. 23 Application of flying cinders simulation to the prediction of volcanic eruption damage to houses

数値流体解析を用いた竜巻内の飛散物の解析は、当時親交のあったオクラホマ大学のDavid Bodine先生らのチームにより、レーダーを使った竜巻による飛散物の追跡に応用されることとなった (Fig. 22, B. Cheong et al., 2015). さらに、気流中の飛散物の解析手法は京都大学防災研究所火山活動研究センターの井口正人先生らとの共同研究により噴石の飛散解析 (劉美智ら, 2020) に適用され、次節で述べる飛来物による衝撃試験装置を用いた外装材の耐衝突試験とともに火山噴火時の噴石による被害予測に応用された (Fig. 23) .

4.3 衝撃試験法の開発

飛来物による建物被害を予測するためには、強風による飛来物の飛散性状を明らかにするだけでなく、

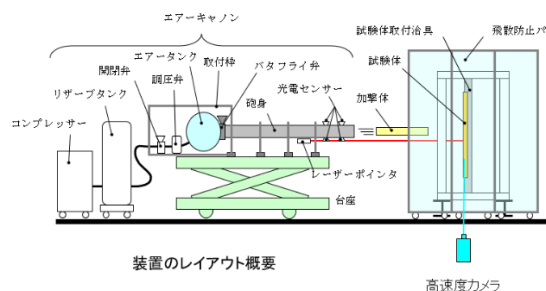


Fig. 24 Impact test using an air-cannon

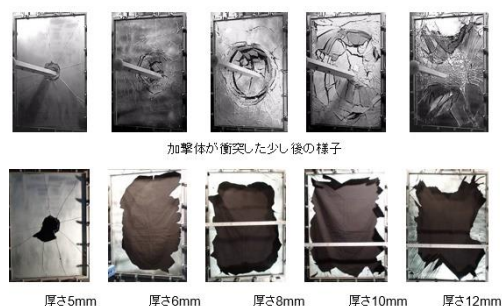


Fig. 25 Impact test of float glasses using air-cannon under ISO 16932

飛来物の衝突に対する外装材の耐衝撃性能を評価する必要がある。そこで、当時上司であった京都大学の河井宏允先生と、日本建築総合試験所の西村宏昭氏とともにエアーキャノンを用いた衝撃試験装置を作成し (Fig.24), ISO 16932に準じた飛来物に対する耐衝撃試験および評価方法の開発を行った (Maruyama et al., 2013) . さらに、エアーキャノンを用いた数々の試験 (Fig.25, 丸山敬ら, 2014.1) や、和瓦が飛来する際の合わせガラスに対する衝撃力の評価結果 (丸山敬ら, 2012) をもとに、建築用ガラスの暴風時における飛来物衝突試験方法であるJIS R 3109 : 2018の制定につなげ、飛来物に対して最も弱い外装材であるガラスの、耐衝撃性能の評価が日本でも行うことができるようになった。この試験・評価方法は窓ガラスだけでなく窓シャッターの飛来物に対する衝突試験・評価方法にも発展し、強風時の飛来物による建物被害の防止・軽減のための防災ガラス、シャッターの普及に貢献することができた。さらに、火山噴火時の噴石落下時の衝突による外装材の衝撃破壊特性の解明 (Maruyama et al., 2023) にも役立てた。

4.4 社会への還元

強風災害の予測、防災・減災に向けては、京都大学防災研究所の西嶋一欽先生とともに、建物強風被害のリスク評価の高度化 (Fig.26) に向けた研究を進めた。また、研究成果の社会還元として、熊本大学の友清衣利子先生とともに、住民向けの強風に対する防

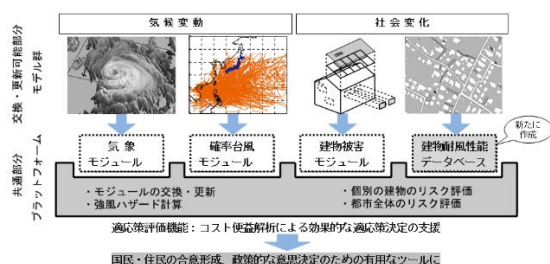


Fig. 26 Risk assessment of typhoon wind damage to houses



Fig. 27 Disaster prevention brochure for residents

災パンフレットの作成 (Fig.27), および, 行政の防災担当者への教育プログラムの開発を行った (友清衣利子ら, 2019).

5. その他

その他, 京都大学防災研究所の田中孝義先生とは風洞実験により火炎周辺の気流性状を調べ (Fig.28, 丸山敬ら, 2002), 市街地火災における火災を含む熱気流解析のための基礎データを収集した. また, 非定常乱流場の数値流体解析をクリーンルーム内の気流解析 (Fig.29) に適用し, 新潟大学中田光先生とともに, 細胞プロセッシング内の空気浄化効率の最適化の検討と空気浄化装置の性能評価に応用した.

6. これから

最近では, 京都大学防災研究所火山活動研究センターの井口正人先生とともに, 火山噴火時の噴出物の飛散・拡散解析 (Fig.30) を行っている. 大気中の高温密度場の非定常解析を行うことができる1方程式系のLESに, 平岡が開発したキャノピーモデルを適応し, 複雑地形上の火山噴出物を含む固気混相流れ場が解析できる計算手法の開発を目指している. その際必要となる, 噴石の空力特性, 大気との熱のやり取りを計算に取り込む際に必要となるデータを取得するために, 風洞・水槽実験装置の開発も併せて行っている (丸山代表科研費A, 2022~2025).

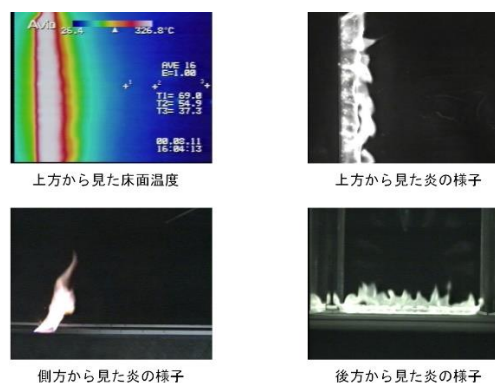


Fig. 28 Wind tunnel test of high temperature flows around fire flame

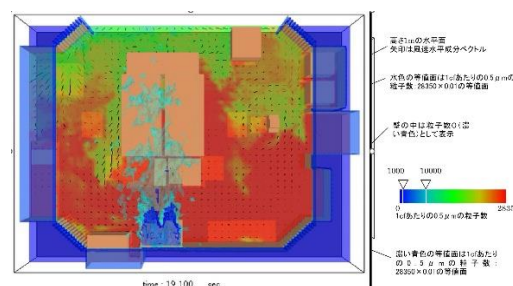


Fig. 29 Simulation of wind flow in a cell processing room

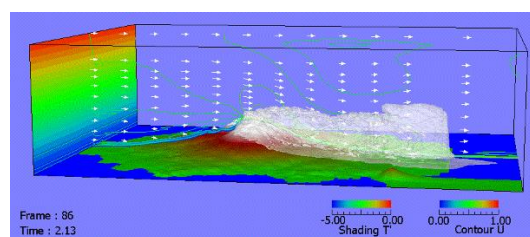


Fig. 30 Simulation of plume from Sakurajima in a high temperature atmospheric wind flow during volcanic eruption

7. おわりに

私が京都大学防災研究所で行ってきた約40年間の「風」の研究を振り返ってみると, 本当に多くの方々の協力, 援助に負うところが大きいことを痛感します. 本報に取り上げられなかった方々もまだまだおられますが, それらの方々を含め, 改めてお礼を申し上げます. 種々雑多に研究を行ってきましたが, それらが学問の発展に, また, 人々の役に立つことを願っています. 最後に, 後に続く研究者の方々のご活躍, 防災研究所の発展を願っています.

参考文献

- 石崎潑雄・桂順治・谷池義人・丸山 敬 (1984.12) : 地表面粗度の違いによる境界層気流性状の変化に関する風洞実験, 第8回風工学シンポジウム, pp.91-98.
- 岩谷祥美・田村幸雄・日比一喜・須田健一・中村 修・丸山 敬・石橋龍吉 (2005.12) , ドップラーソーダによる海岸と内陸部における平均風速と風速鉛直成分の乱れの強さの鉛直分布に関する研究, 日本建築学会構造系論文集, No.598, pp.27-34.
- 田畑侑一・今野尚子・菊池 文・持田 灯・丸山 敬・萩島 理・谷本 潤 (2010.12) : 自動車群の流体力学的効果を再現するためのCFDモデルの開発, 第21回風工学シンポジウム論文集, pp.67-72.
- 玉城 磨・丸山 敬・西村宏昭・根本浩明 (2018) : 風洞実験による直方体型ネットハウスの空力特性の測定, 第25回風工学シンポジウム論文集, pp.307-312.
- 友清衣利子・鈴木佐代・丸山 敬 (2019.3) : 地震津波避難訓練に伴う防災教育指導案の提案とその評価, 日本建築学会九州支部研究報告, pp.473-476.
- 平岡久司・丸山 敬・中村泰人・桂 順治 (1989.12) : 植物群落内および都市キャノピー内の乱流モデルに関する研究 (その1) 乱流モデルの作成, 日本建築学会計画系論文報告集第406号, pp.1-9.
- 平岡久司・丸山 敬・中村泰人・桂 順治 (1990.10) : 植物群落内および都市キャノピー内の乱流モデルに関する研究 (その2) 実験データとの比較によるモデルの検証, 日本建築学会計画系論文報告集第416号, pp.1-8.
- 丸山 敬 (1994.3) : 市街地上空における耐風設計用気流性状の予測に関する研究, 京都大学論工博第2931号.
- 丸山 敬・盛川 仁 (1994.11) : 乱流境界層内の実験データを条件とする風速変動の数値シミュレーション, 第13回 風工学シンポジウム論文集, pp.573-578.
- 丸山 敬 (1995.8) : 市街地上空における気流性状の数値計算 (その1実際の市街地をケーススタディとした計算手法の検証), 日本建築学会構造系論文集, 第474号, pp.49-58.
- 丸山 敬・丸山勇祐・W. ロディ・平岡久司 (1996.12) : 人工的に発生させた流入気流を用いたLESによる乱流境界層の計算, 第14回風工学シンポジウム論文集, pp.217-222.
- 丸山 敬 (1998.11) : 市街地上空における気流性状の数値計算 ; その2建物の密度変化に伴う平均風速および乱れの強さの変化, 日本建築学会構造系論文集, pp.59-64.
- 丸山 敬 (1998.12) : 平塚市上空の気流性状の数値シミュレーション, 第15回風工学シンポジウム論文集, pp.137-142.
- 丸山 敬・田中哮義 (2002.7) : 乱流境界層内の二次元火炎後方熱流場の気流・温度性状に関する実験的研究 (その1) , 日本建築学会計画系論文報告集, No.557, pp.9-16.
- 丸山 敬 (2004.12) : LESによる粗面上の乱流境界層の数値計算, 第18回風工学シンポジウム論文集, pp.57-62.
- 丸山 敬・石川裕彦・内田孝紀・河井宏允・大屋裕二 (2006) : 台風0418号通過時の宮島周辺の強風場に関する数値シミュレーション, 日本風工学会誌, No.108, pp.95-104.
- 丸山 敬 (2008.6) : ラージ・エディ・シミュレーションによる竜巻状の渦を作る試み, 京都大学防災研究所年報, pp.481-488, 第51号B.
- 丸山 敬・前田潤滋・友清衣利子・中野満寿男・金田幸恵 (2008.12) : メソスケール気象モデルにより再現された台風0418号の強風場, 第20回風工学シンポジウム論文集, pp.37-42.
- 丸山 敬・藤井文夫 (2009.4) : 風速場とネットの変形に関する連成解析, 日本風工学会論文集, Vol.34, No.2 (No.119), pp.21-30.
- 丸山 敬・河井宏允・加茂正人・西村宏昭 (2012.12) : 瓦に対する合わせガラスの耐衝撃特性, 第22回風工学シンポジウム論文集, pp.109-114. I
- 丸山 敬・河井宏允・西村宏昭・花谷真由子 (2014.1) : 種々の加撃体を用いた合わせガラスの耐衝撃試験と標準加撃体の提案, 日本風工学会論文集, Vol.39No. 1 [No. 138], p. 1-12.
- 丸山 敬・河井宏允・奥田泰雄・中村 修 (2014.12) : 数値計算による竜巻中の飛散物の速度推定, 第23回風工学シンポジウム論文集, pp.487-492.
- 丸山 敬・泉 知宏・玉城 磨 (2018) : WRFとLESを用いた地上付近の変動風速場の再現計算, 第25回風工学シンポジウム論文集, pp.31-36.
- 丸山 敬・竹見哲也・山田広幸・山口弘誠 (2021.12) : 前線通過時のドップラーライダーによる強風観測, 京都大学防災研究所年報, pp. 131-136, 第64号B.
- 丸山 敬 (代表 : 2022~2025) : 火山噴出物の飛散・拡散挙動に関する新たな解析手法の開発と火山災害対応への統合, 令和4年度~令和7年度, 基盤研究 (A)(一般)22H00248.
- 劉美智・丸山 敬・佐々木寛介・井上 実・井口正人・藤田英輔 (2020) : 噴石モデルの落下試験の動画解析, 風工学研究論文集, vol. 26, pp. 305-313.
- Cheong, B., Bodine, D., Zhu, C.Y., Fulton, S., Torres, Maruyama, T. and Palmer, R. (2015.6) :

- Understanding tornadic debris echoes using a radar time-series emulator, June, pp.912-917, DOI:10.1109/RADAR. 2015.7 131125.
- Tamaki, M. and Maruyama, T. (2021) : Comparison of wind loads on rectangular net house with numerical simulation and wind tunnel tests, *Acta Hort.* 1312. ISHS 2021. DOI 10.17660/ActaHortic.2021.1312.79.
- Maruyama, T., Rodi, W., Maruyama, Y. and Hiraoka, H. (1999) : Large eddy simulation of the turbulent boundary layer behind roughness elements using an artificially generated inflow, *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.*, vol.83, pp.381-392.
- Maruyama, T. (2008.10-11) : Large eddy simulation of turbulent flow around a wind break, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* Vol.96, Issues10-11, pp.1998-2006.
- Maruyama T. (2011.4) : Simulation of flying debris using a numerically generated tornado-like vortex. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics.* 99(4), pp.249-256.
- Maruyama, T., Kawai, H., Nishimura, H. and Hanatani, M. (2013.12) : Missile Impact Resistant Test of Glasses according to ISO 16932, *Journal of Disaster Research* Vol.8 No.6, pp.1114-1119.
- Maruyama, T. and Iguchi, M. (2023.12) : Impact Resistance Test of Cladding by Using Gravel, *Journal of Disaster Research*, Vol 18, No. 8, pp.918-923, DOI, <https://doi.org/10.20965/jdr.2023.p0918>.
- (論文受理日 : 2024年8月31日)