

平成 26 年度 風工学研究拠点 共同研究成果報告書

研究分野：屋外環境

研究期間：H26 ～ H27 [平成 27 年度も研究継続]

課題番号：142004

研究課題名（和文）：猛暑による健康被害リスクや冷暖房エネルギー消費予測の基礎となる高分解能メソ気象データの作成

研究課題名（英文）：Development of high-resolution mesoscale meteorological database for prediction of heatstroke risk and cooling & heating demand

研究代表者：持田 灯

交付決定額（当該年度）： 630,000 円

1. 研究の目的

- 1) IPCC の第 5 次評価報告書(第 1 作業部会報告書)^{文1)}では、平均気温の上昇だけでなく、猛暑等の出現頻度も増加すると予測している。建物を設計する際の冷暖房負荷は、現在のところ、過去の気象統計データから作成した拡張アメダスデータ等を参考に計算しているが、建物の寿命が数十年ということを考慮すると、これら気候変動の影響は、冷暖房消費エネルギーに、将来無視し得ない影響を与える。
- 2) また、気候変動により都市空間の暑熱化が進み、熱中症等の健康被害も急増している。近年、医学や労働災害の分野で研究データが蓄積されつつあり、気象官署で観測された平均気温が同程度でも、高温時における健康被害の発症率は都市により相当の差がある場合があると報告されている。この原因として、ヒートアイランド現象により、気象官署で観測された気温と中心市街地の気温が大きく異なることが考えられる。
- 3) 例えば、仙台の中心市街地は、海岸からおよそ 10km に位置し、約 5km 四方の広さであり、海陸風により沿岸都市特有の気候が形成される。約 20km 間隔で配備されている AMeDAS の仙台での測定値を代表値とするには、分解能の粗さから適当とは言えない。以上の状況を鑑みて、本研究ではメソスケール気象解析に基づき、現在及び温暖化を考慮した将来予測を行い、高分解（500m～1km）な気象統計データを面的に整備する。

2. 研究の方法

- 1) 過去の 5 年間(2006 年～2010 年)の 8 月及び 1 月を対象に、1km の計算格子で仙台平野や関東平野等のメソスケール気象解析を実施し、1 か月間の時系列データ及び統計量を取得する。
- 2) GCM(Global Climate Model、約 60 km のメッシュ)の将来の全球解析結果を境界条件とし、2031 年～2035 年の 5 年分の 8 月及び 1 月の力学的ダウンスケーリングに基づくメソスケール気象解析を行い、時系列データ及び統計量を取得する。
- 3) 1) 及び 2) の各々 5 年分の 8 月及び 1 月の解析結果から、拡張アメダスデータの標準月の抽出にも用いられる EA-DWT 法^{文2)}を用いて、標準月を抽出する。また、8 月の極端気象日を抽出する。
- 4) 1) 及び 3) の結果を踏まえ、標準月と極端気象日を対象に、気温、湿度、日射量等について、現在及び 2030 年代の標準月及び極端気象日の時系列データや時刻別平均値を 1km

程度の分解能で面的に整備する。

- 5) 4) の結果から、猛暑による健康被害リスクや冷暖房エネルギー消費予測の基礎となる風速、気温、相対湿度、日射量等の気象データを整備する。具体的には、現在及び 2030 年代の標準年及び 8 月の猛暑、1 月の寒冬の時系列データや時刻別平均値を 500m~1km 程度の分解能で面的に整備する。また、一般に用いられる温熱指標 (SET*^{注1)}、WBGT^{注2)} の現在と 2030 年代の変化量について要因分析を行い、温熱指標の変化に大きく影響する要因を抽出する。
- 6) 防災分野のリスク評価の概念を取り入れた都市・市街地の熱中症リスク評価手法を考案し、仙台の市街地を対象に具体的なリスク評価を行う。

3. 研究成果

3.1 夏季を対象としたクリマアトラス

3.1.1 解析概要

現在は 2006 年から 2010 年の五年間、将来は 2031 年から 2035 年の五年間の 8 月一ヶ月を解析期間とし、二週間の助走計算期間を設けた。図 1、表 1 に示す 3 段階ネスティングを施した領域を解析した。MIROC から得られた 6 時間間隔の三次元データから、WRF へ与える初期境界値を作成した。解析条件を表 2 に示す。WRF 解析結果から^{文 3)}を参考にダウンスケーリング解析を行い、仙台管区気象台地点において EA-DWT 法^{文 2)}平均月の選定を行った結果、現在については 2007 年 8 月が、将来については 2034 年 8 月が平均月として選定された。

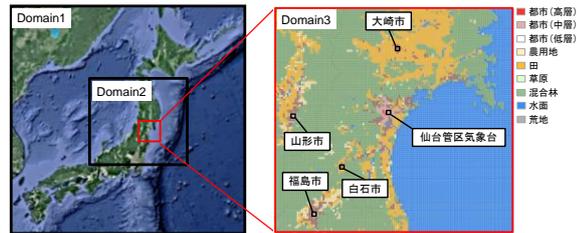


図 1 解析領域
表 1 解析領域、メッシュ分割数、メッシュサイズ

領域	メッシュ分割数	メッシュサイズ
(X×Y)[km]	(X×Y×Z)[-]	(X×Y)[km]
domain 1	1800×1800	72×72×34
domain 2	750×750	150×150×34
domain 3	120×120	120×120×34

表 2 WRF 解析条件

タイムステップ		90秒、30秒、6秒
初期・境界値	土地利用データ	domain1, domain2 : USGS domain3 : 国土数値情報
	地形データ	domain1, domain2 : USGS domain3 : 国土数値情報
	標高	MIROC4h による温暖化予測データ
雲微物理過程		WSM 6-class graupel scheme
放射過程	短波	Dudhia scheme
	長波	rrtm scheme
地表面過程		Noah Land Surface Model scheme + Single-layer Urban Canopy Model
大気境界層過程		YSU scheme
積雲パラメタリゼーション		Kain-Fritsch (new Eta) scheme
ネスティング		I-way ネスティング

3.1.2 SET*(平均月)

2030 年代夏季の SET*水平分布を図 2 に示す。図 2 を見ると内陸部において SET*高温域が形成されていることがわかる。図 3 に示した現在と将来の SET*差の分布を見ると、将来は内陸部において SET*が大幅に上昇しており、最大 7.2[°C]程度の変化が見られる。ここで、現在と将来の風速差の水平分布(図 4)から内陸部における風速低減、気温差の水平分布(図 5)から内陸部における昇温を確認でき、SET*の上昇に寄与していると推定できるが、定量的な評価は難しい。そこで、SET*構成要素の現在と将来の変化が SET*に及ぼす影響を定量的に把握するため、SET*構成要素による要因分解を実施した。将来の SET*の値から、将来の構成要素のうち 1 要素のみ、現在のその構成要素の値に換えて算出した SET*の値を引いた値を求めた。結果が正值の場合は構成要素の現在と将来の変化によって SET*の上昇、負値の場合は SET*の低下を引き起こしていることを表している。図 6 に要因分解の結果のうち、風速の変化に伴う SET*変化の分布を示す。図 6 を見ると風速変化の SET*への寄与度は非常に大きく、最大 6[°C]

程度の SET* 上昇を引き起こしている。図は省略しているが、他の構成要素(気温、湿度、MRT)の変化に伴う SET* への寄与度は小さく、特に大幅な絶対湿度の増加(図 7)に伴う SET* の上昇は最大 0.2[°C]程度に留まっている。このことから SET* 上昇を抑えるためには、風通しの良い都市を形成する必要があると考えられる。

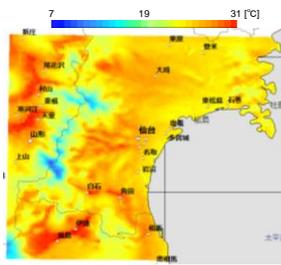


図 2 2030年代夏季の SET*分布 (地上 2m)

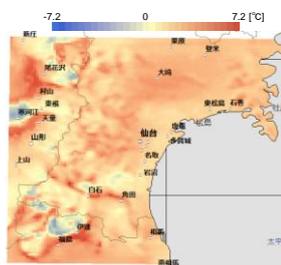


図 3 SET*差の水平分布 (2030年代 8月—2000年代 8月)

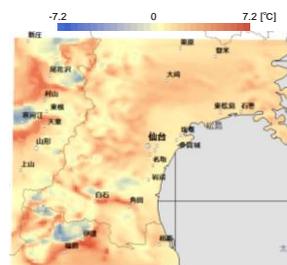


図 6 現在と将来の風速変化に伴う SET* の変化の水平分布

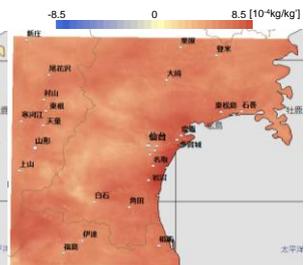


図 7 絶対湿度差の水平分布 (2030年代 8月—2000年代 8月)

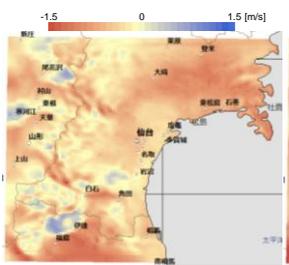


図 4 風速差の水平分布 (2030年代 8月—2000年代 8月)

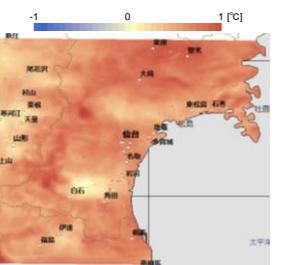


図 5 気温差の水平分布 (2030年代 8月—2000年代 8月)

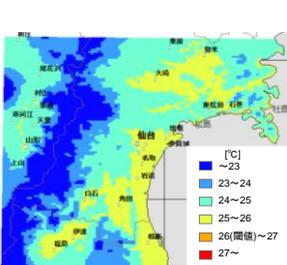


図 8 2030年代夏季平均月の WBGT 分布(地上 2m)

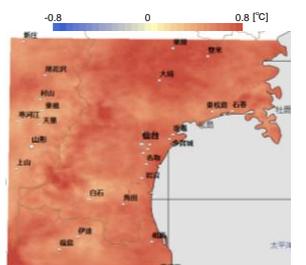
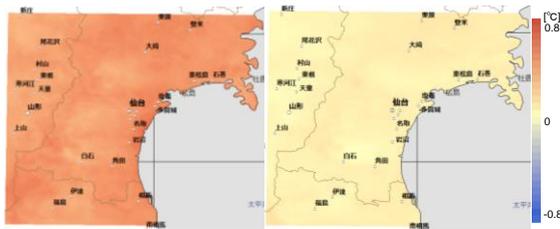


図 9 WBGT 差の水平分布 (2030年代 8月—2000年代 8月)

3.1.3 WBGT

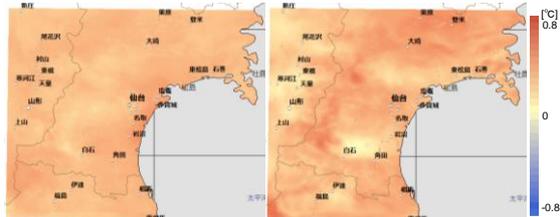
3.1.3.1 平均月

図 8 に示した 2030 年代夏季平均月の WBGT 分布を見ると、沿岸部において WBGT が高い傾向にある。しかしながら、仙台における熱中症が急増する閾値²⁴⁾である 26[°C]を超えた地域はない。図 9 に現在と将来の WBGT 差を示す。図 9 を見ると、沿岸部と内陸部において最大 0.8[°C]程度、WBGT が上昇している。WBGT 構成要素の現在と将来の変化が WBGT に及ぼす影響を定量的に把握するため、WBGT 構成要素による要因分解を行った結果(湿球温度、乾球温度)を図 10 に示す。図 10(1)を見ると、湿球温度の変化の WBGT への寄与度は非常に大きく、沿岸部において最大 0.5[°C]程度、WBGT が上昇している。これは、図 7 に示した沿岸部における大幅な湿度上昇が原因と考えられる。その一方で、昇温(図 5)に伴う WBGT の上昇(図 10(2))は小さい。しかしながら、実際に気温が上昇した際には、湿球温度と黒球温度にも影響を与える。そこで、WBGT 算出時に入力データとして用いている気象要素(気温、絶対湿度、下向き短波放射量、地上気圧、風速)による要因分解を行い、気象要素の現在と将来の変化に伴う WBGT への寄与度を評価する。図 11 に示した要因分解の結果(絶対湿度、気温)を見ると、絶対湿度と気温の変化の WBGT への寄与度は非常に大きいことがわかる。絶対湿度上昇に伴い沿岸部において最大 0.4[°C]程度、昇温に伴い内陸部において最大 0.5[°C]程度、WBGT の上昇が確認できる。図は省略しているが、他の気象要素(下向き短波放射量、地上気圧、風速)の変化に伴う WBGT の変化は小さかった。このことから、WBGT 上昇を抑えるためには、湿度と気温の上昇を防ぐ必要がある。



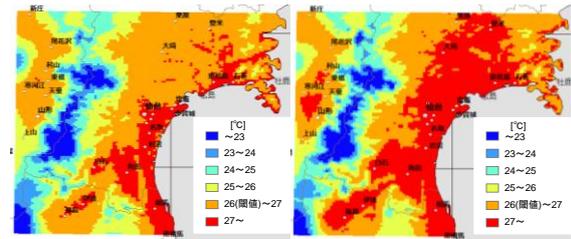
(1) 湿球温度のみ (2) 乾球温度(気温)のみ現在

図 10 WBGT の構成要素による要因分解
((将来の WBGT) - (ある構成要素のみ現在の WBGT))



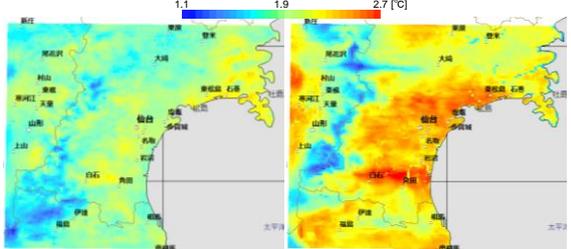
(1) 絶対湿度のみ現在 (2) 乾球温度(気温)のみ現在

図 11 WBGT 算出時の入力データとなる気象要素による要因分解
((将来の WBGT) - (ある気象要素のみ現在の WBGT))



(1) 海風 (2) 山風日

図 13 2030 年代夏季の極端気象日における WBGT 水平分布



(1) 海風 (2) 山風日

図 14 2030 年代夏季の極端気象日と平均月の WBGT 差の水平分布
(2030 年代 8 月極端気象日 - 2030 年代 8 月平均月)

3.1.3.2 SET* との比較

3.1.2 項において、SET* は風速の変化による寄与度が大きく絶対湿度の変化による寄与度が小さいことを述べた。人体熱収支を考慮した指標である SET* と経験式である WBGT は、真逆の傾向を示しているため、いずれも平均月を対象に作成すると対策に矛盾が生じてしまう。そこで本来の指標の目的に即して、快適性を評価するのに適した平均月を対象に SET*、熱中症の発生する極端気象日を対象に WBGT のクリマアトラスを作成する。

3.1.3.3 極端気象日

極端気象日を日中における風向により、海風日と山風日に分類した。ある山風日の 12 時における風速ベクトルを図 12 に示す。日本海側から風が吹き込み奥羽山脈を越えて仙台に到達していることから、フェーン現象によって極端気象が形成されていると考えられる。仙台管区気象台地点における日平均 WBGT の上位 10 日間のうち、2000 年代は山風日がわずか 1 日であったが、2030 年代は 4 日間に増加した。海風日と山風日の WBGT 水平分布を図

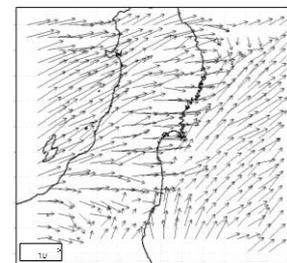


図 12 山風日における風速ベクトルの水平分布(2030 年代)

13 に示す。海風日、山風日共に WBGT が仙台における熱中症が急増する閾値である 26[°C] を超えた地域が沿岸部から内陸部にかけて広く分布している。図 14 に示した 2030 年代夏季の極端気象日と平均月の WBGT 差の水平分布を見ると山風日の方が WBGT の上昇が大きいものの、いずれのケースも極端気象日は平均月と比べ、特に沿岸部において WBGT が上昇していることがわかる。また、解析期間全体でみると、2000 年代は仙台管区気象台地点における WBGT 日平均値が 26[°C] を超えた日数がわずか 5 日間(約 3%)であったが、2030 年代は 2000 年代の 5.4 倍となる 27 日間(約 18%)へと急増した。このことから、現在は SET* に基づく快適性を優先した対策を実施した上で、ライフスタイル等の変更により WBGT 高温日に適応することが可能と考えられるが、将来は WBGT 高温日の頻度の増加から WBGT に基づく危険度を優先した対策の実施が求められる可能性がある。

3.1.4 冷房負荷(平均月)

3.1.4.1 冷房負荷計算概要

熱負荷計算プログラム TRNSYS を用いた。居住者は考えず、屋内の温湿度が 27[°C]、60[%]を超えた場合に空調稼働させ、対象住宅モデルは日本建築学会が定める戸建て住宅標準問題^{文5)}とした。WRF の解析結果をもとに作成した標準気象データから気温、相対湿度、全天日射量を外部気象条件として与え冷房負荷計算を実施した。

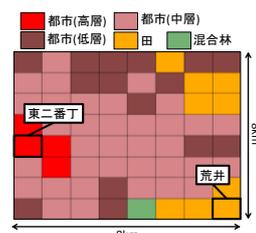


図 15 熱負荷マップ作成対象領域

3.1.4.2 冷房負荷計算結果

図 15 に熱負荷マップ作成対象領域を示す。仙台の沿岸部から中心部にかけての領域を対象とした。図 16 に示した夏季における現在と将来の冷房負荷の差を見ると、潜熱負荷の上昇が顕熱負荷の上昇を上回っている。また、絶対湿度の増加(図 17(2))に伴い、潜熱負荷が特に沿岸部において上昇している。このことから気候変化は屋外環境のみならず、屋内のエネルギー消費に対しても大きな影響を与えることがわかる。

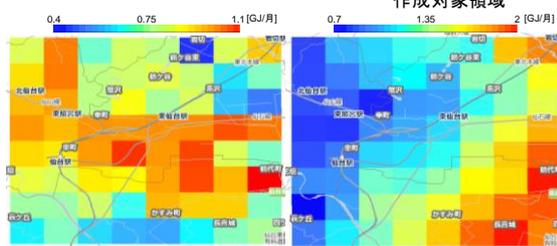


図 16 夏季における現在と将来の熱負荷の差の水平分布 (2030年代8月-2000年代8月)

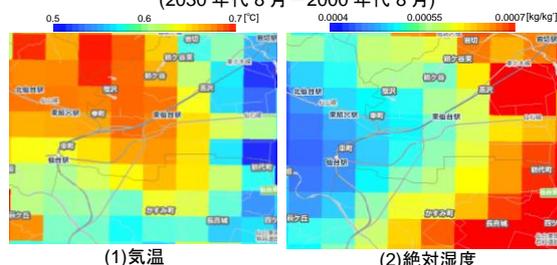


図 17 夏季における現在と将来の気象条件差の水平分布 (2030年代8月-2000年代8月)

3.2 冬季を対象としたクリマアトラス

3.2.1 解析概要

現在は 2006 年から 2010 年の五年間、将来は 2031 年から 2035 年の五年間の 1 月一ヶ月を解析期間とした。他の解析条件の設定は 3.1 節と同様である。WRF 解析結果から仙台区気象台地点の平均月を選定した結果、現在は 2006 年 1 月、将来は 2035 年 1 月が平均月として選定された。

3.2.2 SET*(平均月)

2030 年代冬季の SET* 水平分布を図 18 に示す。図 18 を見ると沿岸部と内陸部の一部において SET* が大きい。図 19 に示した現在と将来の SET* 差の分布を見ると、沿岸部と内陸部の一部において最大 3[°C] 程度の SET* の変化が見られ、ほとんど全ての地域で快適性が向上することがわかる。このとき、現在と将来の風速差の水平分布(図 20)から風速の増減、気温差の水平分布(図 21)から沿岸部における昇温が確認できる。ここで、SET* の構成要素の現在と将来の変化による要因分解を行った結果を図 22 に示す。図 22 を見ると風速の変化、気温の変化共に SET* の変化への寄与が大きいことがわかる。風速の変化に伴って内陸部の一部における SET* の増減、気温の上昇に伴って沿岸部での SET* の上昇が確認できる。図は省略しているが、他の気象要素(湿度、MRT)による影響は非常に小さかった。

3.2.3 暖房負荷(平均月)

3.2.3.1 暖房負荷計算概要

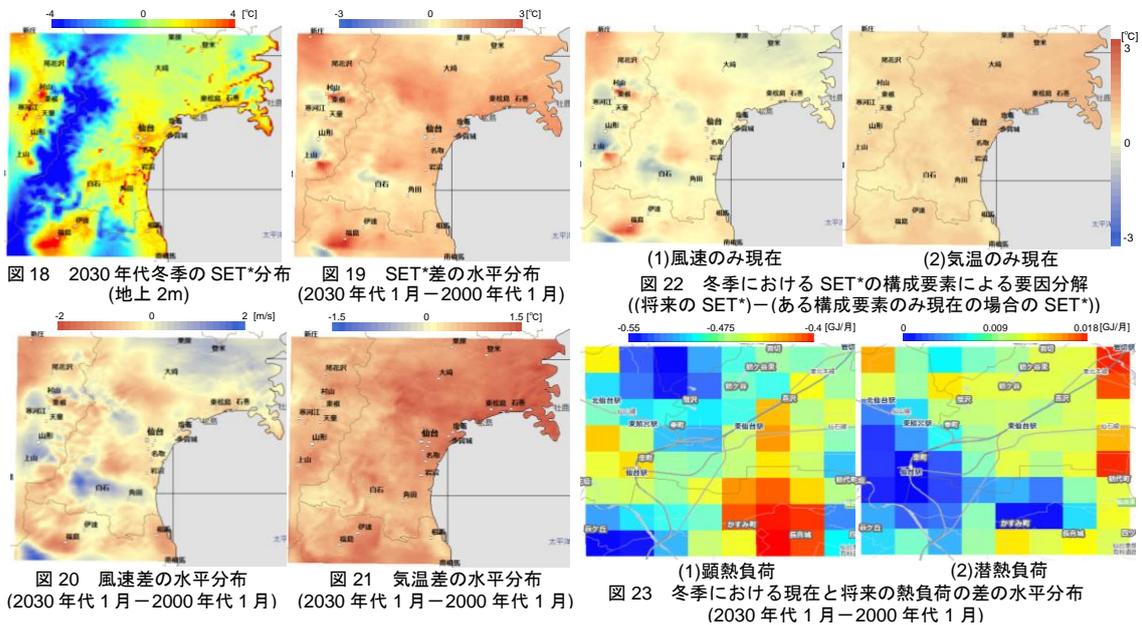
熱負荷計算プログラム TRNSYS を用いて、居住者は考えず、屋内の温湿度が 20[°C]、40[%]を下回った場合に空調稼働させる。他の条件は 3.1.4 項と同様である。

3.2.3.2 暖房負荷計算結果

図 23 に示した冬季における現在と将来の暖房負荷の差を見ると、気温上昇に伴い顕熱負荷は減少しており、顕熱負荷の変化は潜熱負荷の変化を上回っていることが確認できる。しかしながら、冷房負荷(図 16)と比べ地域差は非常に小さい。

3.3 結論

- 1) 2030 年代夏季冬季の平均的な気候を対象に SET*と熱負荷、夏季の極端気象を対象に WBGT を評価することによって将来のクリマアトラスを作成する手法を提案した。
- 2) SET*、WBGT について構成要素による要因分解を行い、SET*は風速、WBGT は絶対湿度と気温の寄与が大きいことを明らかにした。
- 3) 極端気象日における WBGT 日平均値は、海風日と山風日ともに沿岸部から内陸部にかけての広範囲において 26[°C]を超えていた。



【注】

- 1) SET*は人体熱収支を考慮した指標。環境 4 要素の風速、気温、MRT、湿度と人間側 2 要素の着衣量、代謝量により評価される。
- 2) WBGT は経験式である。 $WBGT(屋外) = 0.1Ta + 0.7Tw + 0.2Tg$
 Ta :乾球温度[°C]、 Tw :湿球温度[°C]、 Tg :黒球温度[°C]

【参考文献】

- 1) 気象庁：IPCC 第 5 次評価報告書,第 1 作業部会報告書,気候変動 2013,E.1 大気:気温,pp.18,2013.9
- 2) 赤坂裕他：拡張アメダス気象データ,日本建築学会
- 3) 切石薫他：日本建築学会大会学術講演梗概集(近畿),pp923-924, 2014.9
- 4) 持田灯他：日本建築学会大会学術講演梗概集(近畿),pp.947-948,2014.9
- 5) 宇田川光広：第 15 回熱シンポジウム,1985

4. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者には下線)

1. 切石 薫, 大多和 真, 大風 翼, 持田 灯:

領域気象モデル WRF による都市の温熱環境の数値予測(その 3),
全球気候モデル MIROC と領域気象モデル WRF を用いた力学的ダウンスケーリングによる
仙台の近未来標準気象データ作成手法の提案,
日本建築学会大会学術講演梗概集, 環境工学 I, pp923-924, 2014

2. 大多和 真, 大風 翼, 持田 灯, 切石 薫:

領域気象モデル WRF による都市の温熱環境の数値予測(その 4),
近未来標準気象データに基づく 2030 年代夏季の仙台における冷房負荷の推定,
日本建築学会大会学術講演梗概集, 環境工学 I, pp925-926, 2014

3. 切石 薫, 大風 翼, 東海林 諭, 持田 灯:

領域気象モデル WRF による都市の温熱環境の数値予測(その 5),
2000 年代から 2030 年代に至る仙台の平均的な夏季の体感気候の変化とその要因の分析,
日本建築学会大会学術講演梗概集, 環境工学 I, (印刷中)

4. 東海林 諭, 切石 薫, 大風 翼, 持田 灯:

領域気象モデル WRF による都市の温熱環境の数値予測(その 6)
2030 年代夏季の仙台における極端気象日の WBGT 空間分布に基づく熱中症発症リスク
の評価,
日本建築学会大会学術講演梗概集, 環境工学 I, (印刷中)

[雑誌論文] (計 0 件)

[学会発表] (計 4 件)

[図書] (計 0 件)

[その他] (計 0 件)

5. 研究組織

(1) 研究代表者

持田灯 (東北大学・大学院工学研究科・教授)

(2) 研究分担者

義江龍一郎 (東京工芸大学・工学部・教授)

大風翼 (東北大学大学院・工学研究科・助教)

弓野沙織 (東北大学・大学院生)

切石薫 (東北大学・大学院生)

環貫陽 (東北大学・大学院生)

高野芳央 (東北大学・大学院生)

内田大貴 (東北大学・大学院生)

加藤冴佳 (東北大学・大学院生)

渡部朱生 (東北大学・大学院生)

東海林諭 (東北大学・大学院生)

宮里龍太郎 (東京工芸大学・大学院生)

田辺剛志 (東京工芸大学・大学院生)