

平成 27 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 年度で終了]

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 and heating demand

研究代表者：持田 灯

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)では、今後、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。しかし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。
- 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ており、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のは適当とは言えない。従って、現在及び将来の高分解（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。

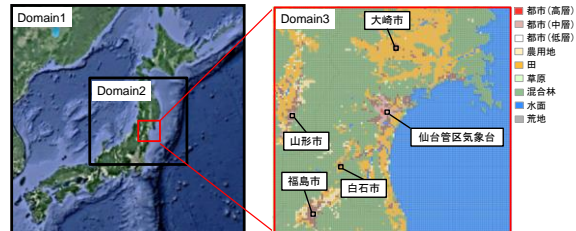


図1 解析領域（仙台エリア）

表1 解析領域、メッシュ分割数、メッシュサイズ

	領域 (X×Y)[km]	メッシュ 分割数 (X×Y×Z)	メッシュ サイズ (X×Y)[km]
domain 1	1800×1800	72×72×34	25×25
domain 2	750×750	150×150×34	5×5
domain 3	120×120	120×120×34	1×1

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	domain 1, domain 2: USGS
		domain 3: 国土数値情報
	地形データ	domain 1, domain 2: USGS
domain 3: 国土数値情報		
気象データ		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	rtnm 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		1-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。

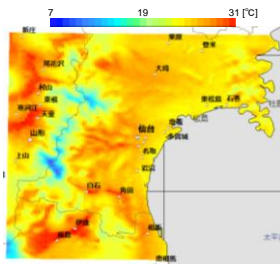


図2 2030年代夏季のSET*分布
(地上2m)

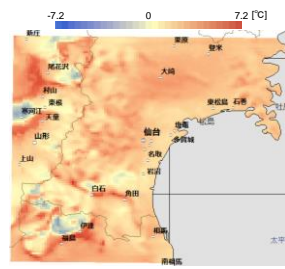


図3 SET*差の水平分布
(2030年代8月—2000年代8月)

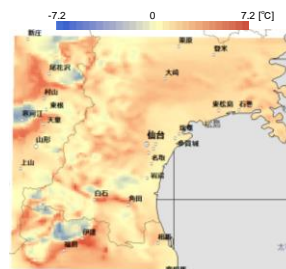


図6 現在と将来の風速変化に伴うSET*の変化の水平分布

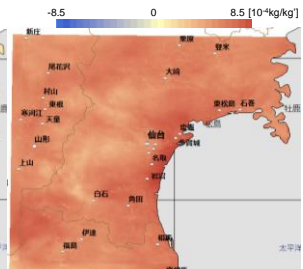


図7 絶対湿度差の水平分布
(2030年代8月—2000年代8月)

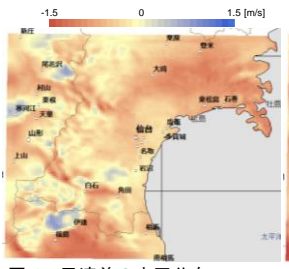


図4 風速差の水平分布
(2030年代8月—2000年代8月)

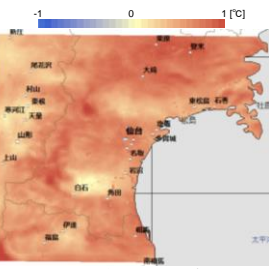


図5 気温差の水平分布
(2030年代8月—2000年代8月)

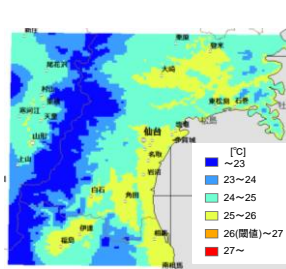


図8 2030年代夏季平均月のWBGT分布(地上2m)

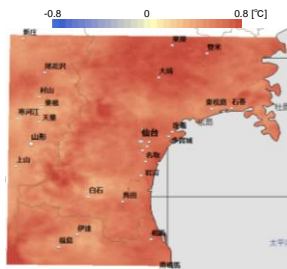
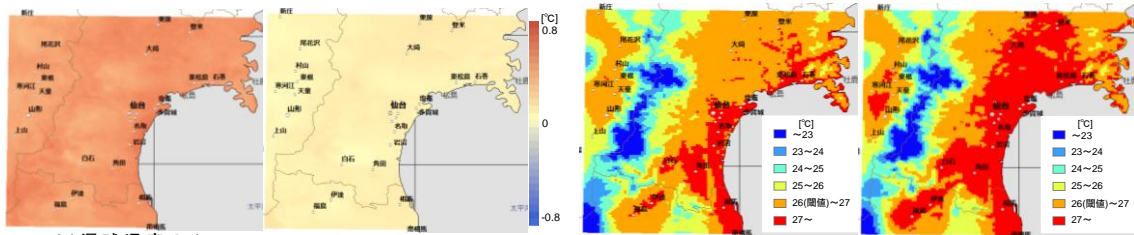


図9 WBGT差の水平分布
(2030年代8月—2000年代8月)

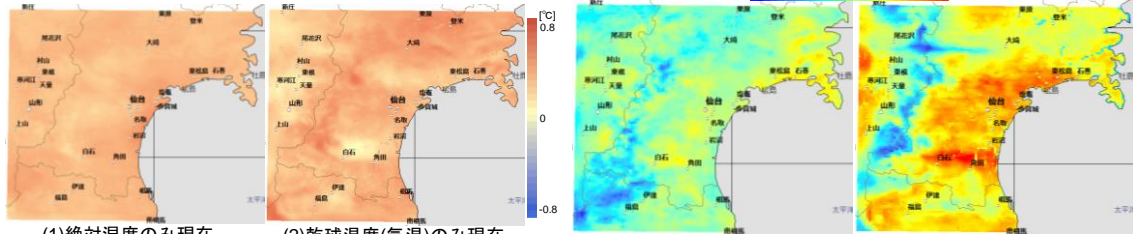
3.1.3 WBGT

3.1.3.1 平均月

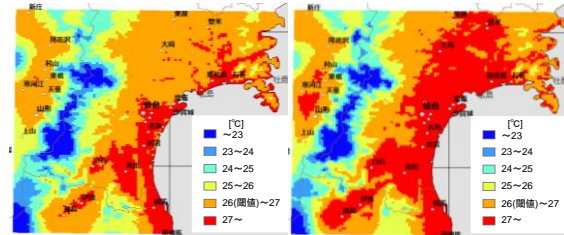
図8に示した2030年代夏季平均月のWBGT分布を見ると、沿岸部においてWBGTが高い傾向にある。しかしながら、仙台における熱中症が急増する閾値⁴⁾である26[°C]を超えた地域はない。図9に現在と将来のWBGT差を示す。図9を見ると、沿岸部と内陸部において最大0.8[°C]程度、WBGTが上昇している。WBGT構成要素の現在と将来の変化がWBGTに及ぼす影響を定量的に把握するため、WBGT構成要素による要因分解を行った結果(湿球温度、乾球温度)を図10に示す。図10(1)を見ると、湿球温度の変化のWBGTへの寄与度は非常に大きく、沿岸部において最大0.5[°C]程度、WBGTが上昇している。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。



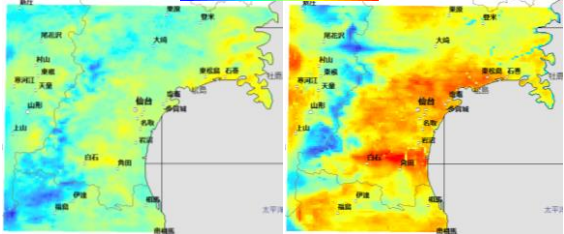
(1) 湿球温度のみ (2) 乾球温度(気温)のみ現在
 図 10 WBGT の構成要素による要因分解
 ((将来の WBGT) - (ある構成要素のみ現在の WBGT))



(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

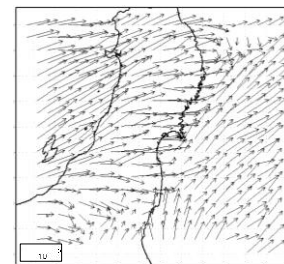


図 12 山風日における風速ベクトルの水平分布(2030 年代)

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を稼働させ、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。

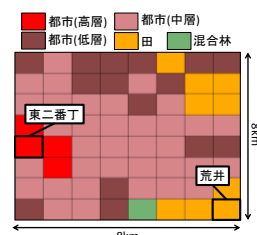


図 15 熱負荷マップ作成対象領域

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。

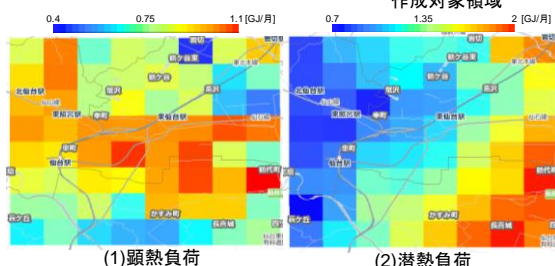


図 16 夏季における現在と将来の熱負荷の差の水平分布 (2030年代8月-2000年代8月)

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 解析結果から仙台管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。

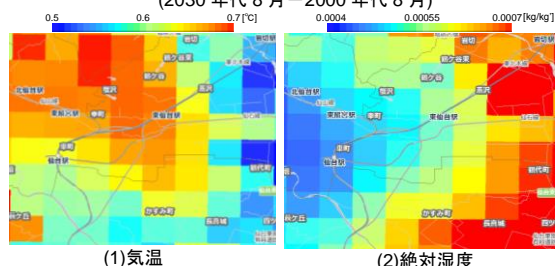


図 17 夏季における現在と将来の気象条件差の水平分布 (2030年代8月-2000年代8月)

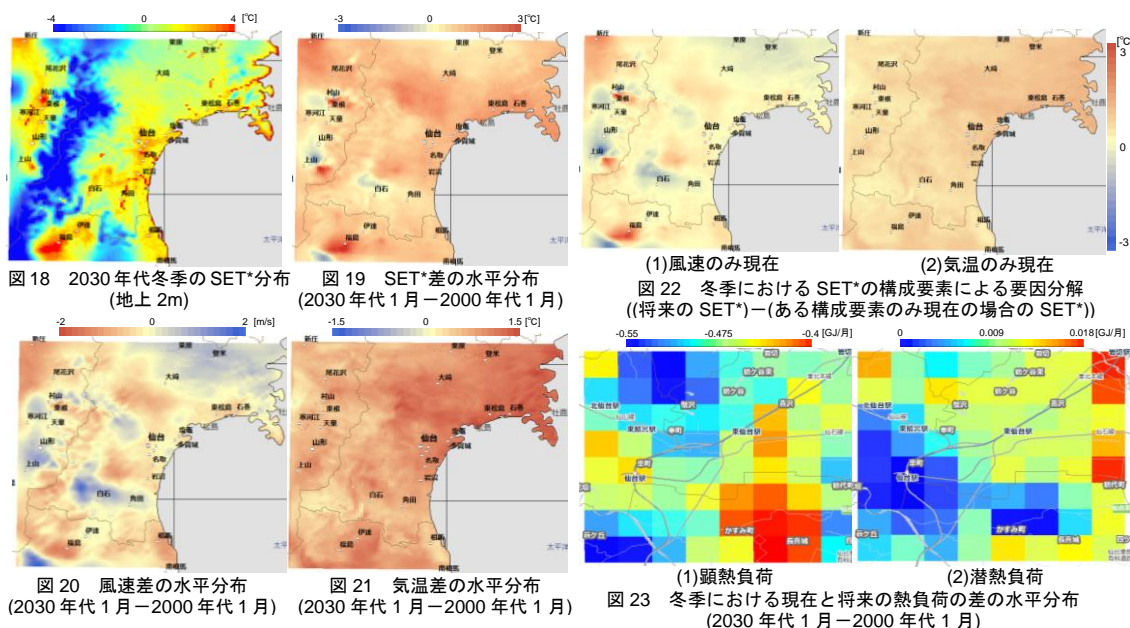
3.2.3 暖房負荷(平均月)

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を稼働させる。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 夏季のメソ気候解析結果を用いた熱中症リスク評価手法の提案

3.3.1 熱中症リスク評価手法の構築

熱中症を災害の一種と捉え、屋外において熱中症が原因で救急搬送される患者数を推定することで、都市空間における屋外の熱中症リスクを定量的に評価する新たな手法を構築した。防災に関する研究分野では、各種の災害リスクを図 24 に示す概念図に基づき定義する場合が多い^{文6)}。①Hazard は災害をもたらす危険要因、②Vulnerability は Hazard に対する都市・地域および人体の脆弱性、③Exposure は Hazard への暴露の程度を意味しており、これらが重なることで災害が発生する。

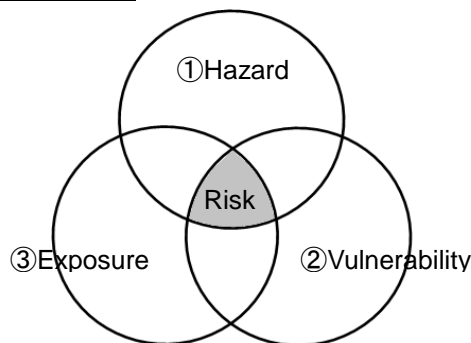


図 24 災害リスク概念図

本研究では、屋外における熱中症による救急搬送者数(熱中症リスク)を推定するために、①Hazard として日最高 WBGT、②Vulnerability として日最高 WBGT と救急搬送率の関係(熱中症リスクカーブ)^{注3)}(図 25)、③Exposure として昼間人口密度^{注4)}の各指標を採用した。現在および将来の Hazard(日最高 WBGT の空間分布)は MIROC4h の計算値を境界条件とした WRF によるダウンスケーリング解析の結果を用いて算定した。

仙台を例とした熱中症リスクの算出過程を表 3 に示す。(1)式は、図 25 に示す主要 5 都市の熱中症リスクカーブのうち、仙台の近似曲線を表している。夏季の気候が比較的冷涼な仙台では、WBGT 温度帯が等しい場合に他都市より救急搬送率が高く熱中症に対して脆弱であるという特徴を示した。なお、救急搬送率が最も増加する WBGT 温度帯(閾値)は 28.5°Cであった。ま

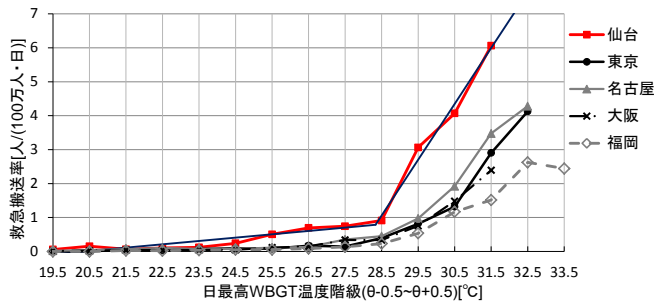


図 25 日最高 WBGT と熱中症による救急搬送率の関係(屋外)

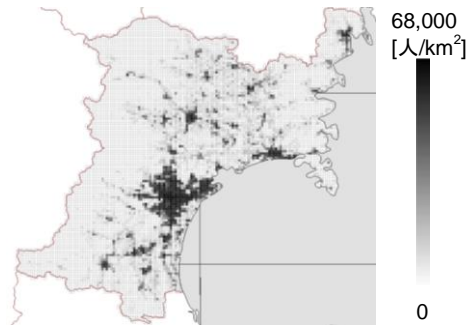


図 26 宮城県の日間人口密度の空間分布

た、宮城県における昼間人口密度の空間分布を図 26 に示す。本研究では、気候変化が熱中症リスクに及ぼす影響を分析することを目的としているため、昼間人口密度分布は将来も変化しないと仮定した。

3.3.2 熱中症リスク評価手法の妥当性の検証

仙台において熱中症被害が急増し始めた 2010 年 8 月一ヶ月を対象に WRF による過去再現解析を行った。図 27 に 2010 年 8 月の日最高 WBGT および熱中症による救急搬送者数の推移を示す。日最高 WBGT については、仙台管区気象台地点における AMeDAS 観測値と WRF 解析結果からそれぞれ 1 時間おきに WBGT を算出し、その 1 日毎の最大値を示している。救急搬送者数については、仙台市において実際に熱中症が原因で

救急搬送された患者数と前節で提案した評価手法を適用して推定した救急搬送者数である。日最高 WBGT の月平均値は AMeDAS が 29.3℃、WRF が 28.4℃と WRF でやや低かったものの、日最高値の一ヶ月間の傾向はよく再現できている。救急搬送者数に関しては、一ヶ月間の総搬送者数は実際に 101 人、WRF が 64 人と WRF による推定値は約 4 割少なかった。これは、8/5~8/8 の期間の搬送者数を少なめに予測していることによる影響が大きい。8 月前半は日最高 WBGT が閾値の 28.5℃を大きく超える日が連続している。WBGT が高い環境が長期間続くことで人体への熱ストレスが蓄積されたため、8/5~8/8 の期間で実際の搬送者数が推定された値を上回った可能性がある。現状のモデルでは、このような熱ストレスの蓄積による熱中症リスクの上昇は考慮できていないものの、他の期間では日最高 WBGT の推移に連動して救急搬送者数が増減する傾向を定量的に再現できており、本手法自体の有用性は確認できたといえる。

表 3 熱中症リスクの算出式

$$V_{\theta_n} = \begin{cases} 0.10 \times \theta_n - 2.01 & (\theta_n < 28.3^\circ\text{C}) \\ 1.64 \times \theta_n - 45.82 & (\theta_n \geq 28.3^\circ\text{C}) \end{cases} \quad (1)$$

$$IR = \sum_{n=1}^{n=\max} V_{\theta_n} \quad (2)$$

$$Risk = (IR \times PD) / 10^6 \quad (3)$$

V_{θ_n} 日最高 WBGT が θ_n [°C] の日における救急搬送率 [人/(100 万人・日)]

θ_n n[日目]の日最高 WBGT [°C]

IR 一ヶ月あたりの救急搬送率[人/(100 万人・月)]

PD 昼間人口密度[人/km²]

$Risk$ 一ヶ月、1km²あたりの救急搬送者数[人/(km²・月)]

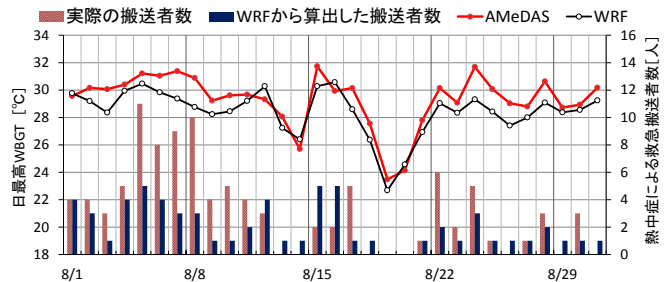


図 27 日最高 WBGT と熱中症による救急搬送者数の日変化(2010 年 8 月)

3.4 2030年代夏季の仙台における熱中症リスクの定量的分析

3.1.1 節で仙台の平均月として選定された、2007年8月(現在)と2034年8月(将来)のWRF解析結果を用いて各気象要素及びWBGTの結果を分析した後、熱中症リスクの空間分布を求めた。

3.4.1 各気象要素

2034年の12時における気温・絶対湿度・風速の空間分布(月平均、以下同様)を図28に、2034年と2007年の差の空間分布を図29に示す。2034年の気温については、山間部を除く陸地に28°Cを超える高温域が広く形成されている。さらに、図29(1)より将来は全域で気温が上昇していることが確認できる。特に仙台市の内陸部、領域の北部・南部の沿岸地域での上昇が顕著で、1°C以上昇温する地域も見られた。また図28(2)から、土地利用が「都市(高層)」に分類され緑被率が小さい仙台市中心部では、周辺より湿度が低いことがわかる。一方沿岸部では、海風による湿度の移流が原因で、高湿度な領域が形成されている。将来は、海面温度上昇に伴う海面からの蒸発量の増加が原因で、絶対湿度も全域で上昇している(図29(2))。また図28(3)を見ると、仙台エリアの夏季の風環境の特徴として、海上から陸地に向かう風速が大きく、海風(南東風)が卓越している点が挙げられる。将来と現在の風向風速ベクトル差の分布(図29(3))を見ると、海上や沿岸部でベクトルがおおよそ南を向いており、将来は日中、海風が侵入しにくいことがわかる。これは、温暖化に伴う海面温度の上昇で、将来は海風の駆動力となる海面と陸地の温度差が小さくなったためと考えられる。

3.4.2 体感温度指標 WBGT

2034年の12時におけるWBGTの空間分布を図30に、2034年と2007年の差の空間分布を図31に示す。気温や湿度と概ね同様に山間部を除く広範囲に高温域が分布しており、仙北・仙南

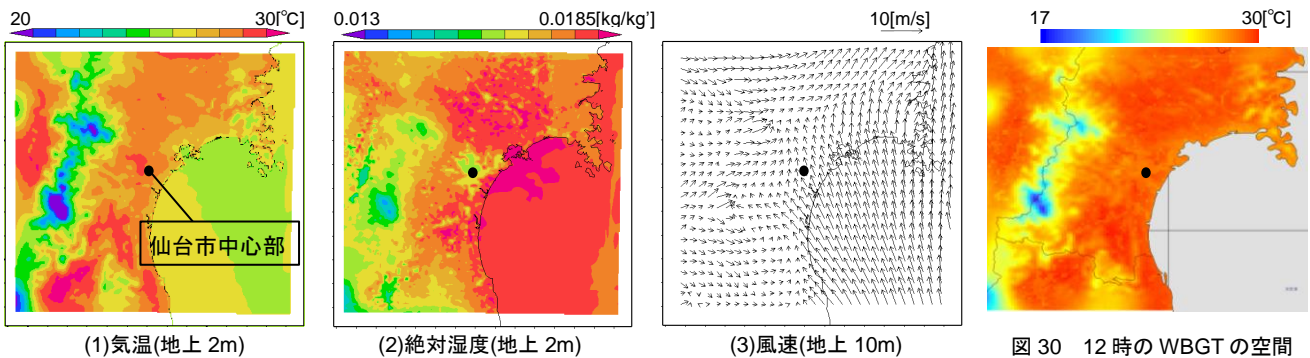


図28 12時の各気象要素の空間分布(2034年)

図30 12時のWBGTの空間分布(2034年)

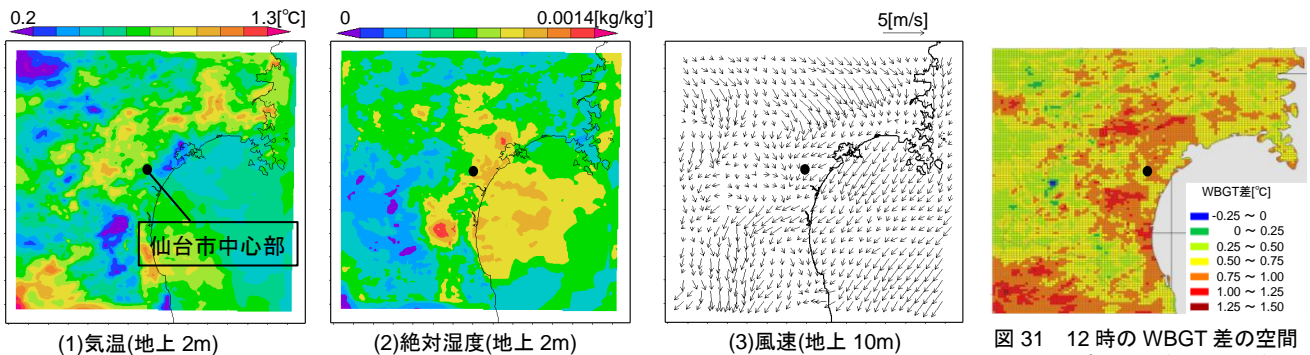


図29 12時の各気象要素の差の空間分布(2034年-2007年)

図31 12時のWBGT差の空間分布(2034年-2007年)

地域では閾値(28.5°C)を超える領域も出現した。また、将来はほぼ全ての領域で WBGT が上昇している(図 31)。高温・多湿・低風速はそれぞれ WBGT を上昇させる方向に作用し、熱中症リスク評価における Hazard 拡大の要因となる。WBGT と各気象要素の分布を比較することで、WBGT への寄与度を要因分解的に分析できる。まず、図 31 より、仙台市都心の周辺部は将来 WBGT が特に上昇した地域であるが、この地域は図 29(2)において湿度の上昇が大きかった領域と一致する。福島県北部でも WBGT が 1°C 以上上昇する地域が出現したが、この地域では湿度より気温の上昇が WBGT の上昇に大きく影響したとみられ、WBGT 上昇の抑制対策は地域毎に異なるといえる。また、風速の増大が確認された南部の沿岸地域や福島県北部でも WBGT は上昇していることから、これらの地域では気温や湿度の上昇に対し風速増大の WBGT 低減効果が小さいといえる。

3.4.3 熱中症リスク

2007 年及び 2034 年の WRF 解析結果に熱中症リスク評価手法を適用し、宮城県における熱中症リスクを推定した。2034 年の一ヶ月、人口 100 万人あたりの救急搬送率(Incidence Rate)分布を図 32 に、2034 年と 2007 年の差の分布を図 33 に示す。また、宮城県全域の昼間人口を考慮した 2034 年の一ヶ月、1km² あたりの救急搬送者数(熱中症リスク)分布を図 34 に、2034 年と 2007 年の差の分布を図 35 に示す。

図 30 と図 32 を比較すると、Incidence Rate は WBGT の分布を大きく反映した結果を示した。山間部では概ね 0[人/(100 万人・月)]であるが、仙北・仙南地域は WBGT が高いため地域が持つ潜在的なリスクが高いエリアとなっている。また、

図 33 を見ると、図 31 で将来 WBGT の上昇が大きかった沿岸部や仙台市周辺で特に Incidence Rate が上昇している。一方、図 34 を見ると熱中症リスクの分布は昼間人口密度の寄与度が大きく、仙台市中心部に高い領域が集中している。将来は Hazard の拡大により広い範囲で熱中症リスクが増大している。Incidence Rate の上昇と高人口密度の相互作用により、仙台市中心部のリスクの増大が顕著で、0.1[人/(km²・月)]程度と上昇幅が最大だった。Incidence Rate の上昇が大きかった仙北・仙南地域にも 0.02[人/(km²・月)]以上搬送者が増加する領域が現れた。

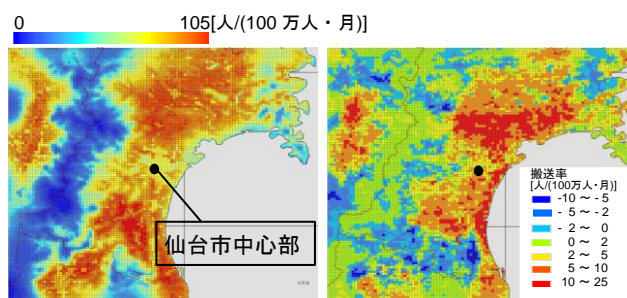


図 32 Incidence Rate の空間分布(2034 年) 図 33 Incidence Rate 差の空間分布(2034 年-2007 年)

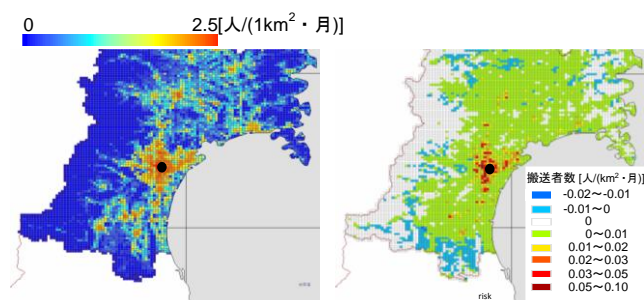


図 34 熱中症リスクの空間分布(2034 年) 図 35 熱中症リスク差の空間分布(2034 年-2007 年)

3.5 2000 年代と 2030 年代夏季の東京を対象とした WRF 解析と熱中症リスクの定量的分析

3.5.1. 解析概要

解析領域を図 36 に示す。解析期間は 2007 年(現在)及び 2031 年(将来)とし、その他の解析条

件は 3.1.1 節を参照。

3.5.2. 解析結果(各気象要素)

図 37 に 2007 年と 2031 年の 14 時平均気温の水平分布を示す。海上や沿岸部において 2031 年の気温が上昇しており、2007 年に比べ $1^{\circ}\text{C}\sim 2^{\circ}\text{C}$ 上昇している。また内陸部に関しても 14 時平均気温が最も高かった 32°C を越える地域は 2007 年の方が広いものの、 30°C 以上となる範囲は 2031 年の方が広く、解析領域全体にわたって気温上昇が見られる。

図 38 に 2007 年と 2031 年の 14 時平均湿度の水平分布を示す。2031 年の方が解析領域の広い範囲にわたって絶対湿度が高く、特に海上や沿岸部においてその傾向が強く、茨城県や千葉県まで高湿度域が広がっている。これは海上気温の上昇により海水面からの蒸発量が増え、湿潤な空気が南からの海風によって茨城県、千葉県付近まで運ばれたことが原因と考えられる。

3.5.2. 解析結果(WBGT)

図 39 に WBGT の水平分布を示す。気温の高かった埼玉県付近の WBGT が高いのは同様だが、2007 年に比べ 2031 年の WBGT 高温域が解析領域の広い範囲にわたって広がっている。特に沿岸部や茨城県付近、千葉県全域において WBGT の上昇が見られ、前述した湿度上昇の影響が反映されていると考えられる。

3.5.3. 解析結果(Incidence Rate)

図 40 に Incidence Rate の水平分布を示す。気温の高かった解析領域の北側の埼玉県付近が最もリスクの高いエリアとなっているのは 2007 年も 2031 年も同様だが、2007 年に比べ、2031 年は高リスクのエリアが千葉県や茨城県かすみがうらの方まで広がっている。また、沿岸部におけるリスクも上がっており将来は気温、湿度の上昇に伴って熱中症リスクも広範囲にわたって増大していくものと推定される。

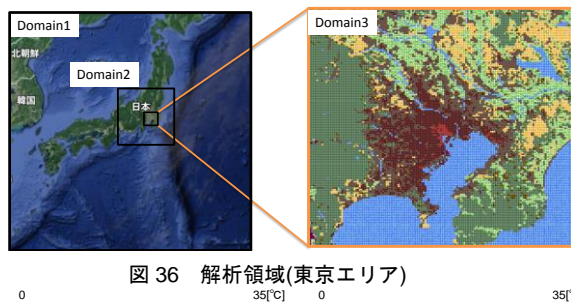
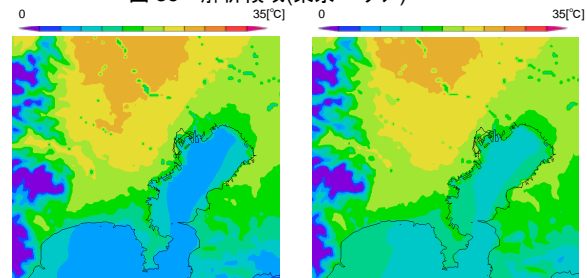
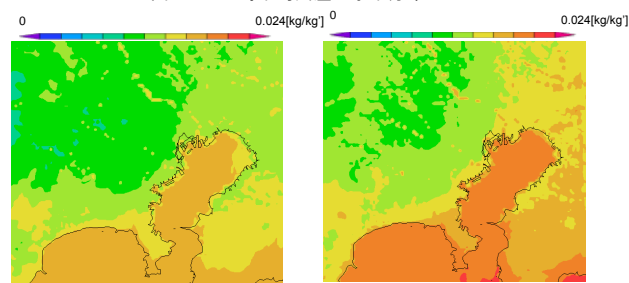


図 36 解析領域(東京エリア)



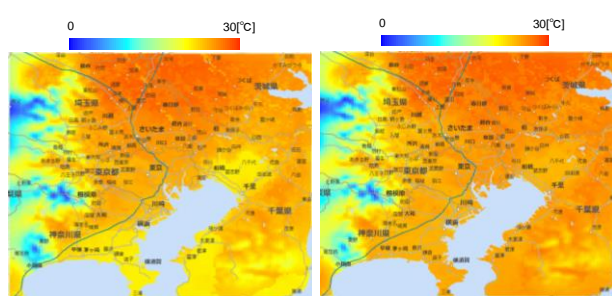
(1) 2007 年 (2) 2031 年

図 37 14 時平均気温の水平分布



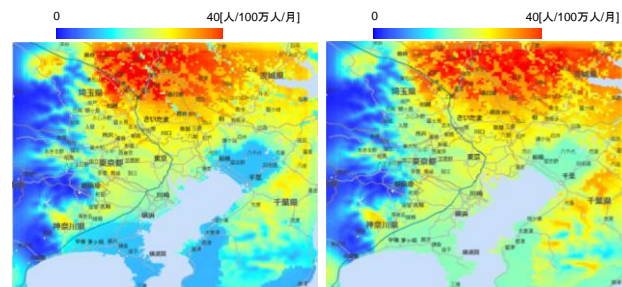
(1) 2007 年 (2) 2031 年

図 38 14 時平均湿度の水平分布



(1) 2007 年 (2) 2031 年

図 39 14 時平均 WBGT の水平分布



(1) 2007 年 (2) 2031 年

図 40 Incidence Rate の分布

3.6 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。
- 4) 日最高 WBGT(Hazard)、日最高 WBGT と熱中症による救急搬送率の関係式(Vulnerability)、昼間人口密度(Exposure)を用いて屋外の熱中症による救急搬送者数(熱中症リスク)を推定する新たな評価手法を構築した。
- 5) 仙台を対象に 2010 年 8 月の WRF 再現解析を行い、熱中症リスクを推定した。実際の救急搬送者数より少なく算出されたものの一ヶ月間の傾向は再現できており、提案した熱中症リスク評価手法の妥当性を確認した。
- 6) 2000 年代と 2030 年代の仙台における屋外の熱中症リスクを分析した。将来は WBGT 上昇に伴い広範囲で Incidence Rate が上昇した。Incidence Rate の上昇に加え昼間人口が多い都心部、Hazard の上昇が顕著であった仙北・仙南地域で特に熱中症リスクが高まった。
- 7) 東京エリアを対象にも WRF 解析を行い、2007 年と 2031 年における熱中症リスクの評価を行った。

【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]
- 3) 各都市の消防庁・消防本部から入手した、2010~2012 年(東京 23 区のみ 2010~2011 年の 5~9 月)における実際の熱中症による救急搬送事例と当該日の最高 WBGT の関係から作成。
- 4) 平成 22 年国勢調査と平成 21 年経済センサスをもとに推定された人口データ。

【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
- 6) IPCC : Fifth Assessment Report(AR5), Climate Change 2014 Impacts, Adaptation, and Vulnerability, 2014.3
- 7)

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, pp699-700, 2015
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, pp701-702, 2015
5. Yuan Li, Tsubasa Okaze, Akashi Mochida
Prediction of the impacts of urbanization using a new assessment system combining an
urban expansion model and WRF –Case study for Guangzhou in China
Journal of Heat Island Institute International, 9(2), (2014), 133-137
6. Saori Yumino, Akashi Mochida, Naohiro Hamada, Susumu Ohno
Method for evaluating the health risk in urban pedestrian space in extremely hot
summer conditions based on the total analysis of mesoscale microscale climates
Proceedings of the 9th International Conference on Urban Climate (ICUC9), (2015)
7. Guang Chen, Lihua Zhao, and Akashi Mochida
Simulation of the urban heat island under the background of urbanization around
Guangzhou
Proceedings of the 9th International Conference on Urban Climate (ICUC9), (2015)
8. Shinji YOSHIDA, Saori YUMINO, Akashi MOCHIDA, Taiki UCHIDA
An evaluation of the effects of heat ray-reflective film on the outdoor thermal
environment using a radiant analysis method
Proceedings of the 9th International Conference on Urban Climate (ICUC9), (2015)
9. Saori Yumino, Taiki Uchida, Kiyoshi Sasaki, Hikaru Kobayashi, Akashi Mochida
Total assessment for various environmentally conscious techniques from three
perspectives: Mitigation of global warming, mitigation of UHIs, and adaptation to
urban warming
Sustainable Cities and Society, 19, (2015), 236-249
10. Akashi mochida, Saori Yumino, Taiki Uchida, Hikaru Kobayashi
Comprehensive assessment on urban planning and building design to mitigate climate
change and adapt to urban warming
Proceedings of World Engineering Conference and Convention (WECC2015), November
29-December 2, 2015
11. 河西 昌隆, 東海林 諭, 大風 翼, 持田 灯, 花岡 和聖:
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 7)
夏季のメソ気候解析結果を用いた熱中症リスク評価手法の提案,
日本建築学会大会学術講演梗概集, 環境工学 I, pp1025-1026, 2016
12. 東海林 諭, 河西 昌隆, 大風 翼, 持田 灯, 花岡 和聖:
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 8)
2030 年代夏季の仙台における熱中症リスクの定量的分析,

日本建築学会大会学術講演梗概集, 環境工学 I ,pp1027-1028,2016

13. Masataka Kasai, Satoshi Shoji, Tsubasa Okaze, Kazumasa Hanaoka, Akashi Mochida

Prediction of heatstroke risk in Sendai in summer of 2030s based on mesoscale simulation by WRF

The Fifth International Conference on Human-Environment System, October 2016

14. Takuma Hasegawa, Saori Yumino, Tomonobu Goto, Akashi Mochida

Simultaneous measurements of outdoor thermal environments and physiological responses of walking

The Fifth International Conference on Human-Environment System, October 2016

[雑誌論文] (計 0 件)

[学会発表] (計 14 件)

[図書] (計 0 件)

[その他]

産業財産権, ホームページ等

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)

内田大貴 (東北大学・大学院生)

加藤冴佳 (東北大学・大学院生)

東海林諭 (東北大学・大学院生)

渡部朱生 (東北大学・大学院生)

阿藤裕昭 (東北大学・大学院生)

市林あゆみ (東北大学・大学院生)

長谷川拓真 (東北大学・大学院生)

立花卓巳 (東京工芸大学・大学院生)