

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年6月1日現在

機関番号：12608

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2010 ～ 2011

課題番号：22860023

研究課題名（和文） 熱収支・気流シミュレーションの連成解析による江戸町屋敷の夏季と冬季の熱環境評価

研究課題名（英文） Evaluation of Thermal Environment in *Edo Machiyashiki* in Summer and Winter, Using the Coupled Numerical Simulation

研究代表者

高田 真人 (TAKATA MASAHIRO)

東京工業大学・大学院総合理工学研究科・産学官連携研究員

研究者番号：30581376

研究成果の概要（和文）： 筆者は現代東京とは空間構成が大きく異なる江戸時代後期の江戸町人地に着目し、地域の気候特性を活かした都市空間の設計および暮らし方の提案への知見を得ることを目指している。当該研究は、夏季における対象地の表面温度分布を数値シミュレーションより算出した学位論文の発展を目指し、同一地点を対象に、江戸湾からの気流の影響も考慮し、夏季と冬季における熱環境を熱と気流の連成解析より評価している。また、居住者の生活行動や服装の影響も考慮し、熱的快適性からの評価も試みている。

研究成果の概要（英文）： One of the main factors of urban heat island phenomena is surface temperature, and the surface temperature is mainly affected by the spatial geometry and material. The city of *Edo*, fore past Tokyo, had been a metropolis in the late *Edo* period, and the townsmen's living areas in the city were totally different from present Tokyo in spatial geometry and material. In the previous study, the summer thermal environment of the block (= *Machiyashiki*) in this residential area was studied using numerical simulation.

Urban heat island phenomena have become serious problems not only in summer but also in winter. Concerning the location of the target site, the influence of wind from the *Edo* bay (= Tokyo bay) was important as well. In this paper, thermal environment in the *Edo* townsmen's residential area in two seasons, summer and winter, was evaluated from surface temperature and sensible heat flux, which were concerned the influence of airflow using CFD.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,130,000	339,000	1,469,000
2011年度	1,160,000	348,000	1,508,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,290,000	687,000	2,977,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：建築環境・設備

キーワード：江戸町人地、熱環境、数値シミュレーション、気流解析、表面温度、再現、生活行動、江戸時代後期

## 1. 研究開始当初の背景

近代化以降、ヒートアイランド現象の発生など東京の熱環境は悪化の一途をたどっている。では近代以前の東京、すなわち江戸時代後期に完成し、現代東京とは空間構成が大きく異なる江戸町人地の熱環境はどうであったのか。それを調べることによって、現代都市の熱環境悪化を改善する方策を発見できるのではないかと発想した。この問題意識のもと、学位論文では、夏季における対象地の表面温度分布を数値シミュレーションより算出し、江戸町屋敷は夏季熱帯夜の形成要因になっていないこと、各時間区分での居住者の屋外での滞在空間の熱放射環境が他の屋外生活空間よりも相対的に良好であることを明らかにした。

この学位論文を更に発展させるために、以下の2事項が必要であることが判明した。

- (1) 熱環境を評価する上で、夏季に加えて冬季の熱環境を対象とする必要がある。
- (2) 江戸町人地は江戸湾に近いので、屋外生活空間の熱環境を評価する上で、気流の影響を検討する必要がある。

## 2. 研究の目的

当該研究は、筆者による学位論文の更なる発展を目指し、学位論文で扱った同一の江戸町屋敷(図1)を対象に、江戸湾からの気流の影響も考慮して、夏季と冬季における熱と気流の連成解析を数値シミュレーションより行うことで、熱環境を評価する。同時に、居住者の生活行動や服装の影響も考慮し、熱的快適性からの評価も試みる。

上記目的を達成するため、具体的に以下の5事項を明らかにする。

- (1) 江戸時代後期における江戸町人地の熱環境の解析に必要な夏季と冬季の代表気象を明らかにする。
- (2) 江戸町屋敷内外の屋外生活空間である表通りおよび路次(=路地)における気流分布を明らかにする。
- (3) 学位論文において明らかにした町屋敷居住者の夏季一日の生活行動に加え、冬季における一日の生活行動を当時の史料より明らかにする。更に、学位論文より明らかにした居住者の生活行動の一覧をもとに、夏季と冬季における居住者の作業内容と服装を同定し、居住者の作業量と着衣量を決定する。
- (4) 上記(1)~(3)の検討結果と学位論文の研究結果をもとに、数値シミュレーションによる熱と気流の連成解析より、対象地の気温分布や風速分布を評価する。
- (5) その上で、居住者の作業量と着衣量も考慮し、屋外生活空間の熱的快適性の評価を試みる。

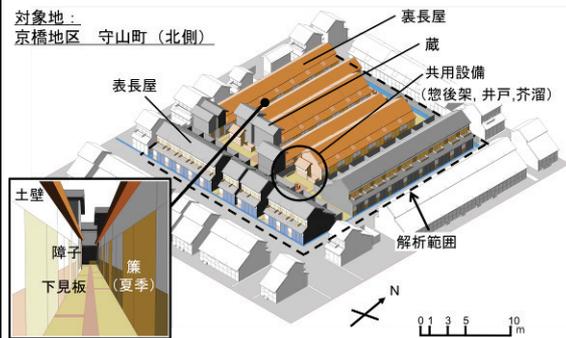


図1 対象町屋敷の3D-CADモデル

## 3. 研究の方法

本研究では、夏季と冬季の両季節における江戸町屋敷の屋外生活空間の熱環境を数値シミュレーションより算出し、評価するために、以下の5事項を実施する。

- (1) 数値シミュレーションによる解析が必要となる夏季と冬季における江戸町人地の代表気象を、都市空間の変化に伴う影響を検討した上で、明治時代の計測データより設定する。
- (2) 夏季と冬季における江戸町人地の表通りと町屋敷内の路次での気流分布をCFDより明らかにする。
- (3) 当時の史料より冬季における江戸町屋敷の居住者の生活行動を明らかにする。更にこの結果と学位論文において明らかにした夏季における居住者の生活行動より、夏季と冬季における居住者の各生活行動の作業量と服装に合わせた着衣量を算出する。
- (4) 上記(2)で明らかにした対象地の気流解析結果と、3D-CAD対応熱環境シミュレータにより明らかにした対象地の表面温度分布とを元に、熱と気流の連成解析を行い、対象地およびその周辺の屋外生活空間の熱環境を算出する。
- (5) シミュレーションより明らかとなった屋外生活空間の生活高さにおける平均放射温度(MRT)、気流、気温より対象地の熱環境を評価する。同時に、上記(3)より明らかにした居住者の一日の作業量と着衣量を考慮し、生活空間の熱的快適性の評価も試みる。

## 4. 研究成果

本研究の成果を以下に示す。

- (1) 数値シミュレーションによる解析が必要となる夏季と冬季の代表気象を設定した。
  - ① 明治23年より明治34年までの11年間で、当時の東京気象台周辺に計測データに影響を及ぼす高層建築の建設や地勢の変化・埋め立て地の造成等、都市空間の変化の有無について、建築・都市計画の両分野の資料を調査した。結果、上記期間には、計測される気

象データに影響を及ぼす都市空間の大きな変化はないことを確認した。

② 図2に示すように、晴天日を対象に、上記期間内における気象データより、夏季および冬季の気象データの11年平均を求め、それに最も近い明治23年の気象データを両季節の代表気象として設定した。なお、本研究は当時の暦に基づき、夏の暑さ/寒さがはじまる「小暑」(7月8日)と「小寒」(1月6日)、最も暑い/寒い時期である「大暑」(7月23日)と「大寒」(1月21日)、のそれぞれ前後7日を対象とした。

(2) 夏季および冬季における対象地周辺の表通りと町屋敷内の路次での気流分布をCFDより算出した。

① 対象町屋敷のある江戸町人地の京橋地区を対象に、先に明らかにした夏季と冬季における代表的な風向(図3)での代表風速を境界条件(表1)に、表通りと町屋敷上空の気流分布の把握を目的に広域の気流解析を行った。更にその解析結果をもとにネスティングを行い、対象町屋敷内の路次と周囲の表通りにおける気流分布を明らかにした。

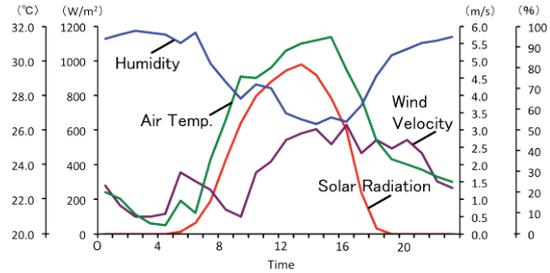
② 図4に、生活空間の気流分布が特に重要となる夏季夕方における解析結果を示す。まず表通りに着目すると、流入風が主軸方位に沿った表通りであっても気流は減衰している。しかし、それでも風速は1.5-2.0m/sあり、気流感を得るには十分であることが把握された。夏季の夕涼みの一つである打ち水は、撒水に伴う湿度の上昇を危惧されているが、ある程度の気流が得られる表通りならば、十分な快適性を得られる可能性があると考えられる。

一方、町屋敷内の路次に着目すると、1.0m/s以下となっている。また、基準高さでの風速が2m以下となる冬季は、その傾向が大きいことも別途確認した。したがって、町屋敷内の路次の多くでは、気流が卓越しないことが分かる。

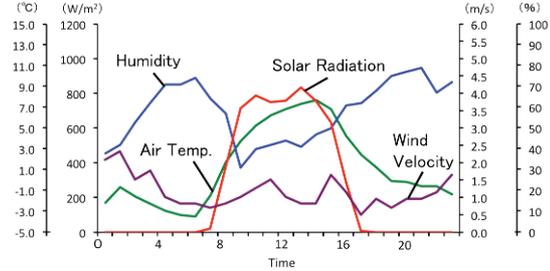
(3) 史料より冬季における町屋敷居住者の生活行動を明らかにした上で、学位論文で明らかにした夏季の居住者の生活行動と併せ、両季節における居住者の各生活行動の作業量と服装に合わせた着衣量を設定した。

① 学位論文と同様に、江戸時代後期だけでなく明治時代の史料も含めて内容を精査し、冬季における町屋敷居住者の生活行動を記述する史料を選定した。その上で、居住者の一日の生活行動一覧を作成した。

② 両季節における居住者の生活行動の一覧(表2)より、表3に示すように、各行動の作業量を設定した。更に居住者の服装を明らかにし、代表的な和服の着衣量をサーマルマネキンより導出した既往研究に基づき服

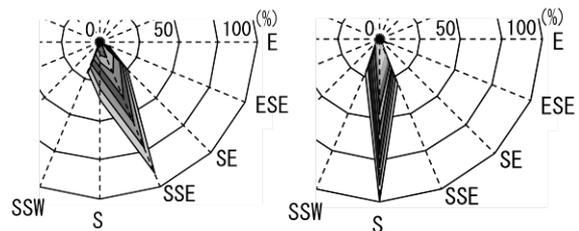


(a) 夏季(明治23年7月19日)



(b) 冬季(明治23年1月5日)

図2 両季節の代表気象データ



(a) 10時~15時(合成) (b) 16時~0時(合成)

図3 明治23年~明治33年における晴天日の風配図と平均風速の一例(夏季)

表1 本気流解析の境界条件

解析領域	領域1	領域2
メッシュ分割	360 m × 450 m × 90 m	60 m × 75 m × 18 m
最小メッシュサイズ	600(x) × 750(y) × 150(z)	600(x) × 750(y) × 180(z)
乱流モデル	標準k-ε	
解法アルゴリズム	SIMPLE解法	
差分スキーム	QUICK	
流入境界	べき乗則 0.2 (1/5乗) 流入風速 6.1 m/s (基準高さ15m) k=2.599, ε=0.403 εはP <sub>i</sub> =εの仮定より算出	
流出境界	自由流出面	
側面、天空面境界	free-slip	
建物壁面、地表面境界	no-slip	

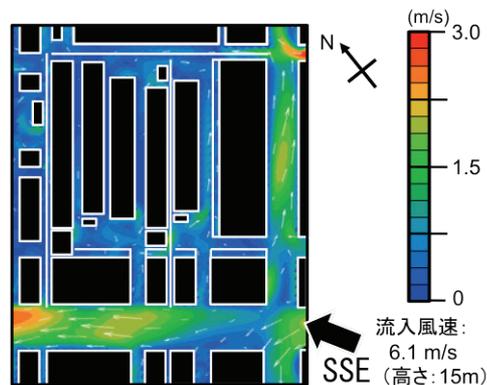


図4 生活高さにおける対象地の気流分布(夏季)

装の種類に合わせた着衣量を設定した(表4)。一覽より、特に夏季の場合、居住者の日中の着衣量が現代と比較して低いこと、および時間区分の変化に伴い、居住者が能動的に着衣を変えていたことが見て取れる。

なお居住者の生活高さについては、大腿骨を用いた身長推定法を用いて、縄文時代から近代初期までの各時代人の身長を推定した既往研究より、江戸時代の江戸町人の平均身長が男性:1571mm、女性:1456mmであることに基づき、立位:1.2m、椅座位:0.6mとする。

(4) 3D-CAD 対応熱環境シミュレータと汎用 CFD ソフトより熱と気流の連成解析を行い、対象地とその周辺の屋外生活空間の熱環境を明らかにした。図5に、本研究で用いる連成解析手法の概要を示す。

① 図6に、夏季と冬季における熱と気流の連成解析より算出した対象地の表面温度分布を示す。対象地の材料構成は、全表面積の8割以上を熱伝導率が高く容積比熱の低い木材と瓦が占め、その半分の4割が日射熱を全面に受ける屋根面であり、容積比熱の高い地表面が全表面積の1割にも満たない。そのため、対象町屋敷は夏季・冬季ともに表面温度が日中は高温になるが、夜間は大気への放射冷却により急速に低下することから、熱をため込みにくい空間であることが把握された。

なお、冬季において屋根面の表面温度は、夜間に0℃以下になっている。屋根表面で結露が生じる可能性が考えられるが、本研究で扱う熱環境シミュレータでは凝結は扱っていないため、この問題は今後の課題とする。

② 対象地の表面温度が周辺大気へ及ぼす顕熱負荷に関して、ヒートアイランドポテンシャル (Heat Island Potential, 以下, HIP) を指標に検討した。本指標はヒートアイランド現象の起きる弱風日を適用対象とし、街区内の全表面から大気への顕熱負荷を温度の次元で示したものであり、式(1)となる。

$$HIP = \frac{\int_{\text{all surfaces}} (T_s - T_a) ds}{A} \dots (1)$$

上記の式(1)において、 $T_s$  は街区内の微少表面温度 (°C)、 $T_a$  は街区キャノピー内の代表気温 (°C)、 $A$  は街区の水平面投影面積 (m<sup>2</sup>)、 $ds$  は微少面積 (m<sup>2</sup>) である。本指標は、実際には凸凹している対象地を平面とみなしたとき、その面が気温より何度上昇し、大気を暖めているのかを示している。

都市のヒートアイランド現象による問題点に着目した場合、現代都市における夜間のヒートアイランド現象が挙げられる。夏季の熱帯夜のみならず、冬季の夜間のヒートアイランドは、熱帯から亜熱帯に生息する動植物の越冬に伴う生態系への異常の一因ともな

表2 町屋敷居住者の一日の生活行動 (夏季)

	明六ツ	朝五ツ	朝四ツ	昼九ツ	昼八ツ	昼七ツ	暮六ツ	夜五ツ~
商人	飲食/洗顔/風呂	仕事	仕事	飲食/午睡	仕事	納涼/飲食/風呂・行水	夕涼み/風呂	睡眠
商人の妻	仕事/飲食/洗顔	仕事/風呂	仕事/風呂	仕事/飲食/午睡	仕事	仕事/納涼/飲食/風呂・行水	仕事/夕涼み	睡眠
居職	仕事/飲食/洗顔/風呂	仕事	仕事	飲食/午睡	仕事	納涼/飲食/風呂・行水	夕涼み/風呂	睡眠
出職	飲食/洗顔/風呂	仕事	仕事	飲食/午睡	仕事	納涼/飲食/風呂・行水	夕涼み/風呂	睡眠
職人の妻	仕事/飲食/洗顔	仕事/風呂	仕事/風呂	仕事/飲食/午睡	仕事	納涼/飲食/風呂・行水	仕事/夕涼み	睡眠

表3 居住者の生活行動と代謝量 (夏季)

	商人	商人の妻	出職	居職	職人の妻
生活行動	代謝量 (met)	生活行動	代謝量 (met)	生活行動	代謝量 (met)
朝六ツ	洗臉・食事 1.3	洗臉・料理 1.5	洗臉・食事 1.3	洗臉・食事 1.3	洗臉・料理 1.5
朝五ツ	仕事 (室内) 1.1-1.4	仕事 (室内) 1.1-1.4	仕事 (室内) 4.0-4.8	仕事 (室内) 1.1-1.4	仕事 (手洗濯等) 2.1-3.6
朝四ツ	仕事 (室内) 1.1-1.4	仕事 (室内) 1.1-1.4	仕事 (室内) 4.0-4.8	仕事 (室内) 1.1-1.4	仕事 (手洗濯等) 2.1-3.6
昼九ツ	午睡 0.7	午睡 0.7	午睡 0.7	午睡 0.7	午睡 0.7
昼八ツ	仕事 (室内) 1.1-1.4	仕事 (手洗濯等) 2.1-3.6	仕事 (室内) 4.0-4.8	仕事 (室内) 1.1-1.4	仕事 (手洗濯等) 2.1-3.6
昼七ツ	夕涼み 0.8	夕涼み 0.8	夕涼み 0.8	夕涼み 0.8	夕涼み 0.8
暮六ツ	自由行動 1.2	夜なべ 1.1-1.4	自由行動 1.2	自由行動 1.2	夜なべ 1.1-1.4
夜五ツ~	睡眠 0.7	睡眠 0.7	睡眠 0.7	睡眠 0.7	睡眠 0.7

出典: 日本建築学会編, 建築設計資料集1, 丸善株式会社, 1978

表4 居住者の服装の日変化とその着衣量 (夏季)

	商人	商人の妻	出職	居職	職人の妻
服装	着衣量 (clo)	服装	着衣量 (clo)	服装	着衣量 (clo)
朝六ツ	単衣・浴衣 0.59	夜着・単衣 / 0.59 / 0.46 仕事着 / 0.70	単衣・浴衣 0.59	単衣・浴衣 / 0.59 / 0.61 仕事着 0.20	夜着・単衣 / 0.46 / 0.59 仕事着 / 0.50
朝五ツ	仕事着 0.84	仕事着 0.70	仕事着 0.05 / 0.27 / 0.43	仕事着 0.20	仕事着 0.46 / 0.50
朝四ツ	仕事着 0.84	仕事着 0.70	仕事着 0.05 / 0.27 / 0.43	仕事着 0.20	仕事着 0.46 / 0.50
昼九ツ	仕事着 0.84	仕事着 0.70	仕事着 0.05 / 0.27 / 0.43	仕事着 0.20	仕事着 0.46 / 0.50
昼八ツ	仕事着 0.84	仕事着 0.70	仕事着 0.05 / 0.27 / 0.43	仕事着 0.20	仕事着 0.46 / 0.50
昼七ツ	浴衣 0.59	単衣・浴衣 0.69	浴衣 0.59	浴衣 0.59	単衣・浴衣 0.69
暮六ツ	浴衣 0.59	単衣・浴衣 0.69	浴衣 0.59	浴衣 0.59	単衣・浴衣 0.69
夜五ツ~	単衣・浴衣 0.43	夜着・単衣 0.59	単衣・浴衣 0.43	単衣・浴衣 0.43	夜着・単衣 0.59
仕事着	絹(あわせ)	絹(あわせ)	上半身絹+六尺ふんどし+帯類(袷類)・袴+ふんどし・腰掛け+半纏+股引・夏袴類・単衣	袴子+ふんどし	綿袴+帯類+裾襦袢・単衣

参考: 花田重代子, 三平和雄, 深見浩子, 緒長善久代, 男女和服の熱抵抗の測定, 大阪市立大学生活科学部紀要, 35巻, pp.101-109, 1987

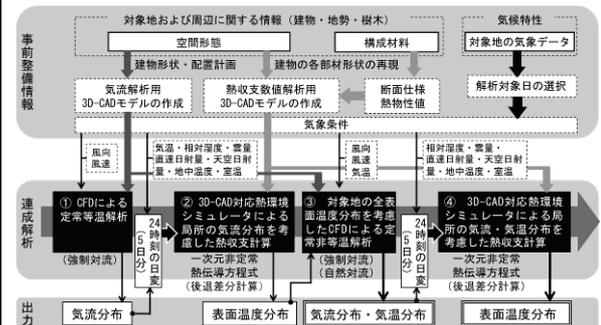
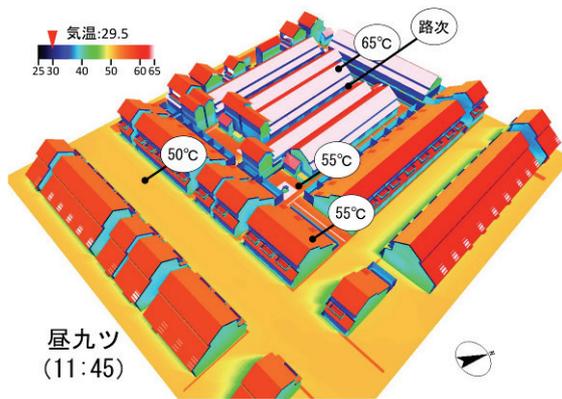


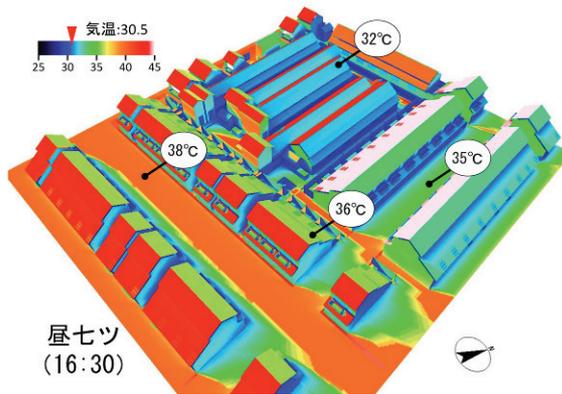
図5 本研究で用いる熱と気流の連成解析の概要

り得る。

図7にHIPの日変化を示す。夏季・冬季共、解析対象となる江戸町屋敷では日中にヒートアイランド現象が起きており、冬季においてもアスファルト面よりHIPが10℃近く高く、その度合いは高い。一方、夜間は、大気への放射冷却に伴う屋根面の表面温度の低下と、熱容量は大きい地表面が全表面積に占める割合が小さいことにより、両季節とも対象地のHIPは芝地と同じ0℃以下となっている。したがって、入ってくる熱をすぐに大気に放出し、熱を溜め込まない江戸町屋敷の空間形態と構成材料は、夜間のヒートアイランド現象の抑制に貢献することが明らかとなる。結果、江戸町屋敷は、冬季には熱帯から亜熱帯性の動植物の越冬が難しく、夏季には熱帯夜の発生要因になっていないことが分かった。

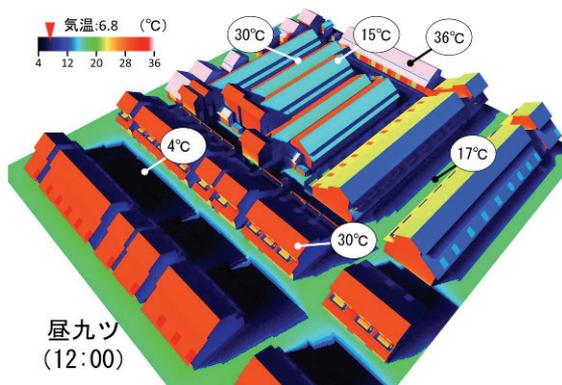


屋九ツ  
(11:45)

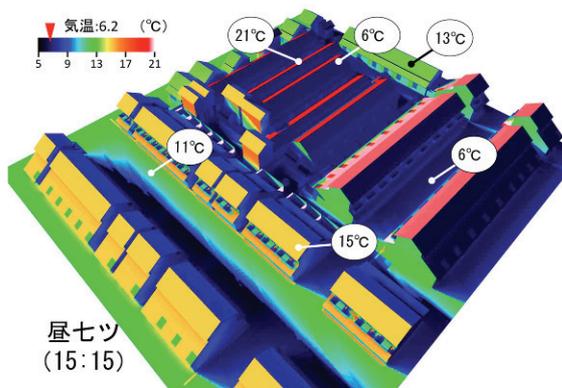


屋七ツ  
(16:30)

(a) 夏季 (明治23年7月19日)



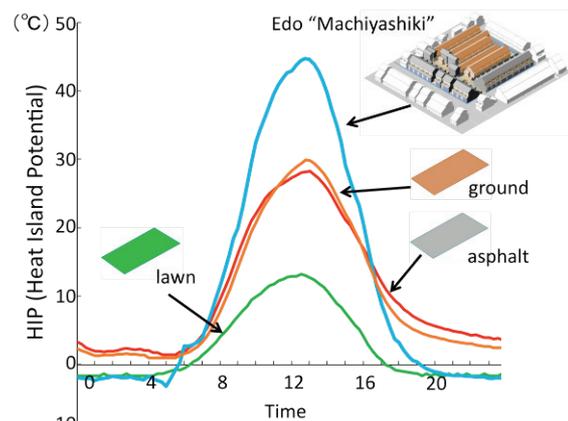
屋九ツ  
(12:00)



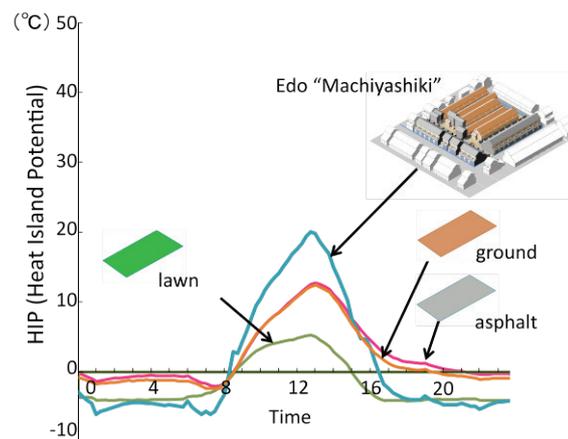
屋七ツ  
(15:15)

(b) 冬季 (明治23年1月5日)

図6 周辺大気への顕熱負荷



(a) 夏季 (明治23年7月19日)



(b) 冬季 (明治23年1月5日)

図7 周辺大気への顕熱負荷の日変化

(5) 屋外生活空間の熱環境が特に問題となる夏季を対象に、先に明らかにした対象地の平均放射温度 (=MRT) 分布・気流分布・気温分布、および町屋敷の居住者の一日の作業量と着衣量より、屋外生活空間での熱的快適性の評価を試みた。

① 図8に、夏季夕方における対象町屋敷およびその周辺における生活高さでの気温分布を示す。図9に、同時刻における生活高さでの MRT 分布と表通りと路次の代表地点における周辺の表面温度分布を示す。

表通りの気温は、地表面の高い表面温度の影響を受け、流入風の気温 (30°C) より高くなっている。一方、路次の気温は、流入風と同等の30°Cである。これは、周辺の表面温度がほぼ気温相当であることと、気流が卓越していないことが原因として挙げられる。

また、周囲の表面温度の違いが両空間の MRT の違いとなっていることが分かる。特に路次では MRT が気温以下となっている。

② 最後に、対象地の気流分布、気温分布、そして居住者の作業量と着衣量を合わせ、表通りと路次の代表地点における標準新有効温度 (SET\*) を求め、屋外生活空間の熱的快適性の評価を試みた。表通りの場合、気温 31.0°C に対して SET\* が商人では 28.5°C、商人

の妻では 29.4℃となる。一方、路次の場合、気温 30.2℃に対して SET\*が職人(出職・居職)は 28.6℃、職人の妻が 29.5℃となる。MRT は表通りより路次の低い、風速は表通りの方が高いため、結果的には両空間とも SET\*がほぼ同じとなった。いずれの場合も SET\*が 28.5-29.5℃の範囲に収まり、夏季夕方において、ある程度快適な空間が形成される可能性が示唆された。

江戸町屋敷に形成される熱環境を数値シミュレーションより定量的に把握し、その形成要因を明らかにする本研究手法は、国内外の伝統都市から当時の建築的・居住者の生活的な工夫を現代に還元する方法を探る上でも有用である。加えて、本研究手法を用いることで、環境工学の分野から建築の歴史にアプローチする建築環境史ともいえる分野の発展に寄与することが可能と考えている。

今後の展開として、研究対象を複数の町屋敷を内包する江戸町人地の町割に拡大させ、町割の内部に複数散在する明地・空地が生活空間の温熱環境に及ぼす影響を、地域の気候特性を踏まえて解析していく予定である。

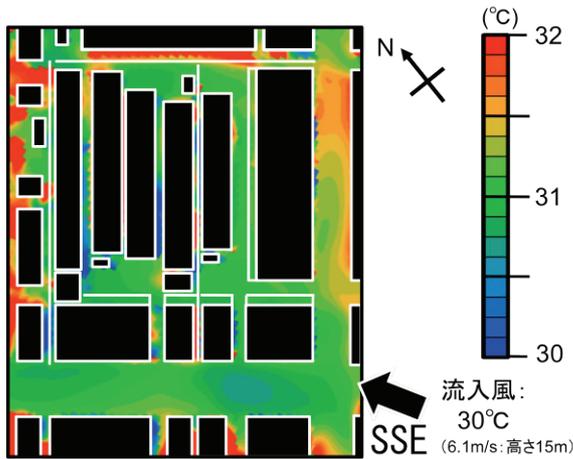


図 8 生活高さにおける気温分布 (夏季 16:30)

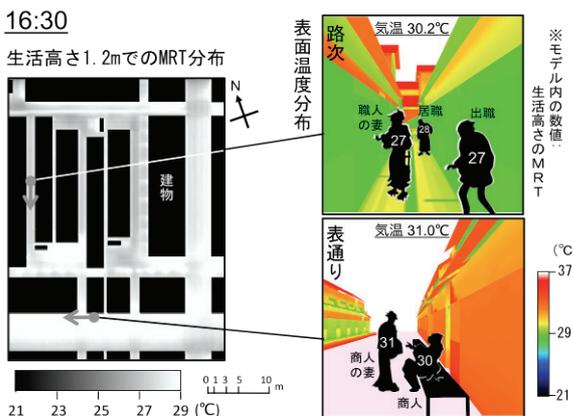


図 9 生活高さでの MRT 分布と表面温度分布(夏季)

5. 主な発表論文等  
〔雑誌論文〕(計 0 件)  
記載事項なし

〔学会発表〕(計 3 件)

- ① Masahito TAKATA, Akira HOYANO, The City without a Nighttime Heat Island: Reproduction and Evaluation of Summer Thermal Environment in Urban Residential Areas in Early Modern Tokyo Using Numerical Simulation, PLEA2011, 2011.7.13-15, Louvain-la-Neuve, Belgium
- ② Masahito TAKATA, Akira HOYANO, Evaluating Summer and Winter Thermal Environment of Townsman's Residential Area in the Fore Past Tokyo Concerning Surface Temperature and Sensible Heat Flux Using Numerical Simulation, International Symposium on Building and Urban Environmental Engineering, 2010.11.17-19, Hanyang University, Seoul, Korea
- ③ 高田真人, 梅干野晁, 夏季と冬季における江戸町屋敷の表面からの大気への顕熱の違い, 日本ヒートアイランド学会, 2010.7.17-18, 神戸大学, 神戸市, 兵庫県

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

ホームページ等

[http://t2r2.star.titech.ac.jp/cgi-bin/researcherpublicationlist.cgi?q\\_researcher\\_content\\_number=CTT100380045&alldisp=1&tab\\_yf=2012](http://t2r2.star.titech.ac.jp/cgi-bin/researcherpublicationlist.cgi?q_researcher_content_number=CTT100380045&alldisp=1&tab_yf=2012)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

高田 真人 (TAKATA MASAHITO)

東京工業大学・大学院総合理工学研究科・

産学官連携研究員

研究者番号: 30581376

(2) 研究分担者

(3) 連携研究者