

暑熱環境改善適応策のシナリオと評価手法に関する研究

課題責任者

杉山 徹 海洋研究開発機構・付加価値情報創生部門・情報エンジニアリングプログラム

著者

杉山 徹*¹*¹ 海洋研究開発機構・付加価値情報創生部門・情報エンジニアリングプログラム

本課題では、夏季の街中の暑熱環境に対する適応という視点から、街区内で暑熱環境の差を生み出す原因と結果を数値シミュレーションから考察している。特に、実街区形状をもとに考察することで、社会実装を目指した研究結果である。本報告では、通りに注目し、通り毎に異なる暑熱環境をもたらす原因を探り、その結果としての暑熱環境をWBGT値「平均WBGT値」で評価した。その結果、WBGT値は、日陰率を反映する空間分布のみならず、時間においても複雑な分布が得られた。その主たる原因は風速である。ある程度の風速があり、体感温度が下げられる時間帯に移動できるようにすることが、暑熱環境改善の対策として挙げられる。

キーワード：都市熱環境、厚さ指数、歩行ルート、MSSGモデル、みなとみらい地区

1. はじめに

都市街区の日中は、夏季のヒートアイランド現象が発生する印象から、一般的に暑熱環境が良くないとされる。実際、日射を受けた道路のアスファルト舗装面は60度を超える高温となり大気を温める。一方で、高層の建物が存在する通りやブロックでは、その粗度からの混合層の発達や日射を遮蔽する事から、裸地に比べて地面表層や直上大気の温度を上げない。このように、都市での暑熱環境は、複雑な空間分布をもって現れるため、街区内の通り毎に熱環境が著しく異なる。本研究では、通りに注目し、通り毎に異なる暑熱環境をもたらす原因を数値シミュレーションからを探り、暑さ指数で評価した。用いた数値シミュレーションモデルは、海洋研究開発機構で開発されているMSSGモデルである。数値シミュレーションでは、空間解像度を5mと高度化し、その複雑な空間分布を再現できるようにした。また、計算街区として横浜みなとみらい21地区の実街区形状を対象とし、より実用的な結果が得られるように考慮した。

2. 計算設定

使用するシミュレーションモデルは、建物街区を再現したものとするため、建物解像度LESである。本研究の解像度は、5mとした。気象条件は、2016年7月30日と2015年8月7日の気象庁GPDVデータを使用した。晴天日が続いた日としてこれらの日を選定した。日本時間の正午から計算を開始し、12:30以降の計算結果を解析に利用した。

対象地区は、横浜市みなとみらい21地区とし、同地区を囲む約5km四方を計算領域に設定した。同計算領域内の街区条件としての建物形状と土地利用用途データを、横浜市建築局より提供いただいた都市計画基礎調査データを利用して作成した。ここに謝辞を述べる。

シミュレーションから、街区内の各地点におけるWBGT

値を10秒毎に算出した。その実利用課題として、歩行ルートに沿って人が移動する際に体感するWBGT値を対象とした。図1に、対象とした2つの歩行ルートと、土地利用用途を表す。歩行距離は、北行ルートが535m、南行ル

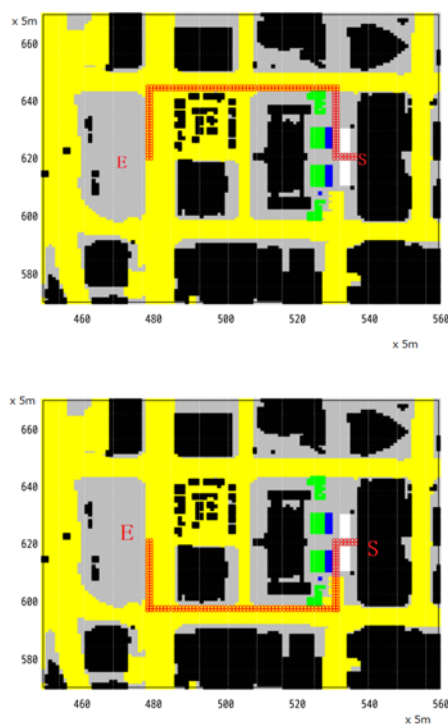


図1：北行ルート（上）と南行ルートを示す。各色は、黒：建物位置、灰：建物敷地、黄：道路、緑：草地、青：水面を表す。歩行開始位置として鉄道出入口を想定し「S」点で、歩行終了位置として新規建設される商業施設を想定し「E」点で示す。赤線が歩行ルートに対応する。

ートが520mでほぼ同じである。これらの移動距離は、信号待ちなどを考慮せず、秒速約1mの一定歩行速度で、10分程度を要する。また同地区はほぼ平坦な地形であり、高低差は少ない。歩行終了位置の図E点右側には、大きな車道が南北（図の上下方向）にある。

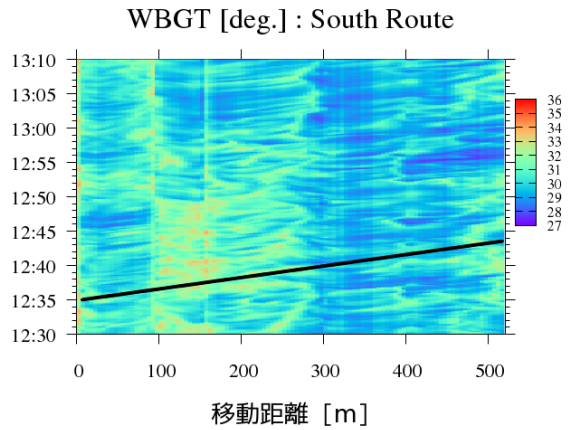


図2：南行ルート上のWBGT値時空間分布。横軸にルートに沿った移動距離（0が歩行開始位置）、縦軸に時刻（時：分）を示す。黒線は、秒速1mで歩行した時の、移動軌跡になる。移動中に体感するWBGT値は大きく変動する。特に時間変化が大きく、そのため、どの時間に移動を開始するかで移動中に体感するWBGT値には大きく差がでる。

3. WBGT値の時空間分布

本シミュレーションでは、気象の境界条件をGPVデータと設定しているため時間変動し、暑熱・風環境が時々刻々変動している。その結果、算出されるWBGT値は、その変動に応じての時空間分布が得られる。図2に2016年7月30日における南行コース上のWBGT値の時空間分布をカラーコンター図で示す。縦軸に時間、横軸に南行歩行ルートに沿った移動距離（道のり）である。表示幅は約9度であり、移動中に体感するWBGT値は大きく変動することが分かる。黒線は、毎秒1mの一定歩行速度で移動した場合の移動線を認識ガイドとして示す。300~400m地点に見られる青色の薄い縦縞模様は、日陰を反映している。表示されている40分間では、日陰の位置が大きく変わらない。一方で、100~200m地点の12:35~12:50に高い値が見られるように、街区形状による日陰に依存しない時空間分布が存在する。その結果、どの時間に移動を開始するかで移動中に体感するWBGT値には大きく差がでる。

その移動中に歩行者が感じる地点ごとのWBGT値を図3に示す。12:31から13:01までの1分毎に移動を開始したとし、その移動中に体感するWBGT値を移動距離に対してプロットした。全30ケースを緑線で表し、その中で移動中の平均WBGT値が最小値（~29.6度、13:01発）を示したケースを青線で、最大値（~30.6度、12:37発）を示したケースを赤線で示した。青線のケースでは、移動中の値は、ほぼ30度以下であるのに対し、赤線の

移動中の WBGT

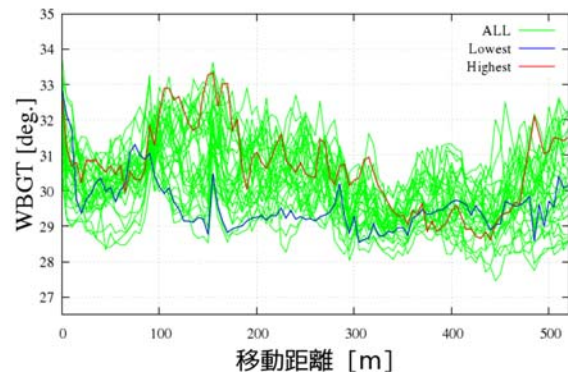
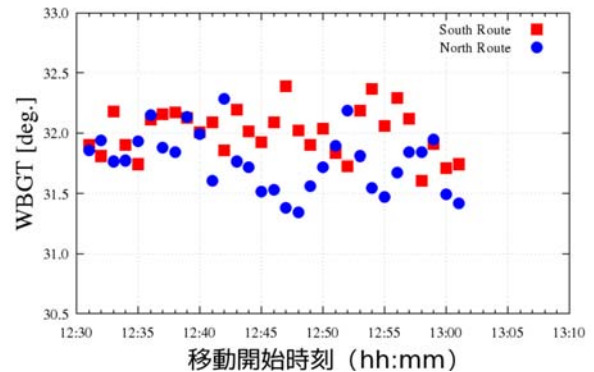


図3：移動中に歩行者が感じる地点ごとのWBGT値を示す。1分毎に出発した全30ケースに対して緑線で示し、その中で平均WBGT値が最低値を示したケースを青線で、最大値を示したケースを赤線で示す。

移動中の平均 WBGT



移動中の平均 WBGT

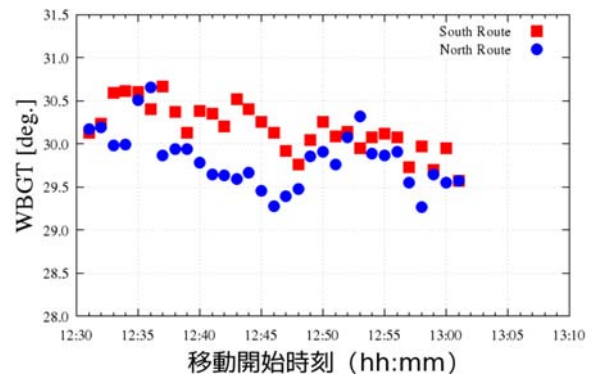


図4：ルートと出発時間を変えることで、移動中に体感するWBGT値の平均値を示す。赤色：南行ルート、青色：北行ルート。（上）2016年7月30日、（下）2015年8月7日ルート。全体的に北行ルートで値が低い。ただし、コースの違いによる変動幅と、出発時間を変えることによる変動幅は、同程度である。

ケースでは、移動の前半は33度に達するなど過酷な熱環境下での歩行となっている。同じルートにもかかわらず、移動開始時刻が異なるだけで、熱環境が大きく異なることが分かる。

次に、ルートが変わればどの程度体感する WBGT 値が変わるかを図4示す。図2, 3に対応する2016年7月30日を上パネルに、2015年8月7日ルートを下パネルに示す。ルート(赤色:南行, 青色:北行)と出発時間(12:31~13:01)を変えることで、移動中に体感する WBGT 値の平均値が変わる様子が分かる。今回の結果では、両日とも、出発時刻をそろえた場合、北行ルートで移動した方が値が低くなる傾向にある。

4. WBGT値と風速の関係

同じルートでも、出発時間を変えることにより差が出てくる要因を示すため、コース上の各地点において WBGT 値と風速との関係を図5に示す。紫点は、図3の南行30ルート中の WBGT 値の風速に対する値である。風速が強いほど、黒球温度、湿球温度、乾球温度ともに温度が低下するため、風速強度が上がるほど WBGT 値は低くなる。よって、図2, 3における WBGT 値の時空間分布は、風速分布の反映されたものである。そのため、移動中の WBGT 値を下げるためには、ある程度風が強い時間帯に歩行を開始することが良いと言える。ただし、風速約6m以上では、WBGT 値は下げ止まり、変化が小さくなる。参考として、各 WBGT 値を算出する計算式において、風速を0とした場合の値を緑点で示す。この値が、純粋に建物形状による放射環境を反映した WBGT 値に相当する。

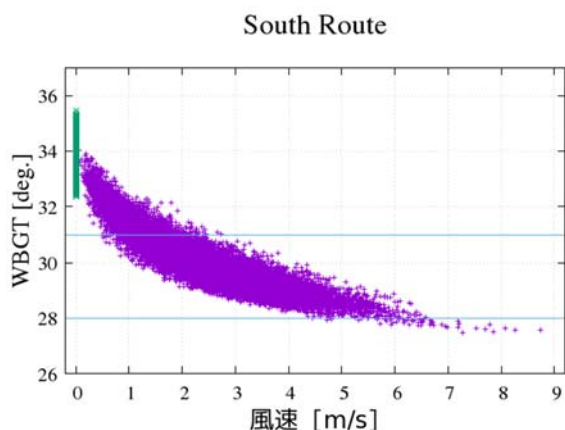


図5:南行ルートの WBGT 値の風速に対する値(紫点)。風速が強くなるほど、WBGT 値は低くなる。WBGT 値算出式において、風速を0とした場合の値を緑点で示す。この値が、純粋に建物形状による放射環境を反映した WBGT 値に相当する。28度、31度の線は、WBGT 値のランク閾値である。~28度:警戒、28~31度:嚴重注意、31度~:危険であり、多くの地点で嚴重注意レベル以上である。

5. まとめ

夏季晴天日における WBGT の値を、街区の通り毎の違いを評価できるほど高解像度の微気象シミュレーションを実行した。その結果、以下の点が明らかとなった。

- ✓ WBGT の値は、時空間分布で大きく変動し、30分程度間に移動ルート(移動距離500m程度)上で約9度の差が生じた。
- ✓ その変動は、日陰率(日向か日陰か)にも依存するが、風速に大きく依存する。
- ✓ 移動中に感じる歩行者の平均 WBGT 値は、歩行開始時刻を変えるだけで、10分程度の歩行時間の間に、最大約1.0度の差を生じさせる。
- ✓ 同じく、歩行ルートを変えた場合は、最大約1.4度の差を生じさせる。

算出した WBGT 値は、空間分布のみならず、時空間においても複雑な分布が得られた。つまり、駅から商業施設へ徒歩で街路を移動する場合を例とすると、「どのルートを通り移動するか」のみならず、「いつ出発するか」によって同じルートでも大きく値が異なる。そのため、出発時刻を変えることでルートを変更した以上の効果が得られる。その差をもたらす主成分は風速である。

そのため、快晴日は、日陰を作る雲を発生させず移動時間中(10分程度)に日陰率を大きく変化しないことを考慮すると、熱中症対策(体感する WBGT 値を低くする対策)として、風を考慮すること、つまり、『ある程度の風速が期待でき、体感温度(黒球温度)を下げられる時間帯に移動する。』ことを提案する。

その実現のためには、風速の予測情報を創生できる予報システムの開発と、その情報をリアルタイムに発信できる通信システムの開発が求められる。今後の社会インフラの構築に期待する。

謝辞

建物形状と土地利用用途データの作成に、横浜市建築局より提供いただいた都市計画基礎調査データを利用して作成しました。

Study on Making Scenarios and Their Evaluation Methods of Thermal Environment

Project Representative

Toru Sugiyama Information Engineering Program, Research Institute for Value-Added-Information Generation, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

Author

Toru Sugiyama*¹

*¹Information Engineering Program, Research Institute for Value-Added-Information Generation, Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

We have investigated the thermal environments from the viewpoint of adaptation to the thermal environment in the city in summer. Especially, the difference of thermal environment in each block are examined from the numerical simulations. The aim is characterized for social implementation by considering the actual city shape of buildings and blocks. In this report, we focused on streets, and evaluated the thermal environment with WBGT index. As a result, we have observed the quite complicated spatial and temporal distribution of WBGT index. The wind speed is the key for understanding the complex. One of the measures to improve WBGT index during the walking in the street, is to move during a time when there is an appropriate wind speed, then the sensible temperature can be lowered.

Keywords : thermal environment, WBGT index, MSSG model

1. Introduction

During the daytime in city blocks, the thermal environment in downtown areas are generally considered to be bad due to the heat island phenomenon in summer. In fact, the asphalt pavement surface of a road exposed to sunlight has a high temperature of over 60 degrees which causes to high air-atmosphere. On the other hand, in the streets and blocks where high-rise buildings exist, the ground temperature is not raised as compared with bare ground, because the development of atmospheric mixed layers due to their roughness and solar radiation are shaded by buildings. Therefore, the thermal environment in the city appears with a complicated spatial distribution, resultantly, the environment differs remarkably for each street in the block. In this study, we have focused on streets, and investigated the causes of different thermal environments on each street by numerical simulation. We have evaluated the environment by WBGT index.

The numerical simulation model for our study is the MSSG model developed by JAMSTEC. In the numerical simulation, the spatial resolution is 5 m so that the complicated spatial distribution of street and buildings could be resolved. In addition, the actual block shape of Yokohama Minato-Mirai 21 district is adopted as the calculation block, so that more practical results could be obtained.

2. Model Settings

The simulation model is a building resolving LES. The spatial resolution is 5 m. The meteorological agency GPV data on July 30, 2016 and August 7, 2015 were used for the meteorological boundary conditions. These days are selected as the days with

fine sunny days. Only the results from the case of 2016 are presented here, others are referred in companion Japanese reports. The calculations are started at noon of local time, and the data after 12:30 have been used for the analysis.

In this simulation, the boundary conditions of the weather are adopted as GPV data, so the air temperature and winds change temporally and spatially in the calculated system. As a result, the calculated WBGT index has a spatiotemporal distribution according to the variation. Figure 1 shows the spatiotemporal distribution of WBGT index on a street on July 30, 2016 in a color contour diagram. The vertical axis represents time, and the horizontal axis represents distance along the walking route.

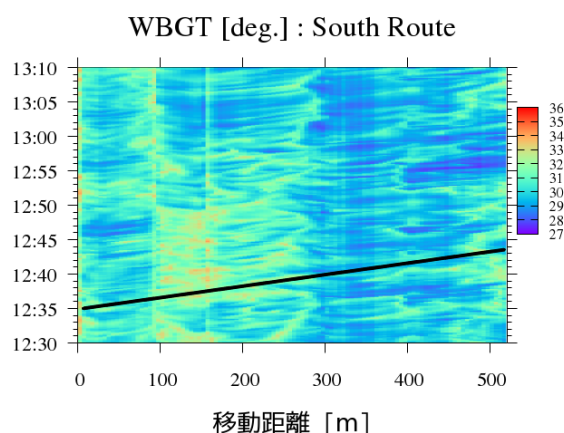


Fig. 1. Spatial and temporal distribution of WBGT index on the street from a station to theater. The index is shown in color contour. Even in the 40 minutes in time and about 500 m in space, the index drastically changes with the range of 9 degree.

The color range width is about 9 degrees. The black line shows the movement line moving with a constant walking speed of 1 m/s as a recognition guide. The light blue vertical stripes around 300 ~ 400 meters reflect the effect of the building shade. In the displayed 40 minutes, the shade position stays. On the other hand, there is a spatiotemporal distribution. For example, high values can be seen between 12:35 and 12:50 around 100 ~ 200 meter. Resultantly, we can see a large difference in the WBGT index for walkers during their movement depending on the time when the walkers start to move.

for you to start when you can expect a certain wind speed. To realize this, it is necessary to develop a forecast system that can generate wind speed prediction information. A communication system in real time is also necessary. We look forward to the nice social infrastructure in the future.

Acknowledgement

The information of the building shape and the land use in the present simulations are based on the basic survey of city planning which are obtained from Yokohama city office.

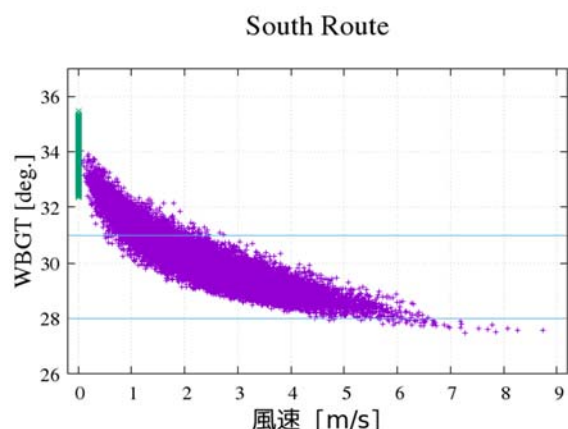


Fig. 2. Relation between WBGT index and wind speed (purple dots). The index gets better with stronger wind. The green dots show the assumed cases with zero wind speed.

3. WBGT-Wind relation

Figure 2 shows the relation between WBGT index and wind speed at each point on the street (purple points). The stronger the wind speed, the lower the temperature of the globe temperature, the wet-bulb temperature, and the dry-bulb temperature. So, the WBGT index gets better with stronger wind. Therefore, the spatiotemporal distribution of WBGT index in Figure 1 reflects the wind speed distribution. For the lower WBGT index, it could be better to start walking during a time when wind is apparently strong. However, when the wind speed is about 6 m/s or more, the WBGT index is almost constant or the changes become small. For reference, WBGT index with the zero wind speed cases are plotted by a green dot in Fig. 2. This value corresponds to the WBGT index that purely reflects the radiation environment due to the building shape.

4. Summary

The calculated WBGT index shows the spatiotemporal complex distribution. In other words, the values differ greatly not only on “which route do you travel through” but also on “when you leave” on the same route. Therefore, changing the departure time has the effect more than changing the route. The main component of the difference is wind speed. Therefore, it is better