

# 海風の気流パターンの違いが 街区気温に与える影響

重田祥範<sup>1</sup>・大橋唯太<sup>2</sup>・塚本修<sup>3</sup>

<sup>1</sup>学生会員 岡山大学大学院自然科学研究科 (〒700-8530 岡山県岡山市北区津島中 1-1-1)  
E-mail: shigecchi7000@hotmail.co.jp

<sup>2</sup>非会員 岡山理科大学総合情報学部 (〒700-0005 岡山県岡山市北区理大町 1-1)  
E-mail: ohashi@big.ous.ac.jp

<sup>3</sup>非会員 岡山大学大学院自然科学研究科 (〒700-8530 岡山県岡山市北区津島中 1-1-1)  
E-mail: tsuka@cc.okayama-u.ac.jp

本研究では、海風の気流パターンの違いにともなう街区内部での気温のばらつきや、気温と街区指標の対応性を定量的に明らかにするため、商業街区と住宅街区の各8か所ですべての季節で海風侵入時に同期して商業街区のみ大きくなり、住宅街区の2倍以上に達していた。気温と街区指標の相関分析からは、両街区とも海風侵入に起因する相関係数の変動は認められなかった。しかし、商業街区の空間開放度が小さい場所では夜間の気温低下だけでなく、日中の気温上昇も局所的に抑制されていることが明らかとなった。

**Key words** : sea breeze, urban structure, air temperature, sky view factor, street aspect ratio

## 1. 研究背景と目的

都市部のヒートアイランドは土地被覆の変化、人工排熱の増加、さらには建物の高層化・高密度化による街路の通風悪化に伴い、局所的に気温が上昇する現象のことである。このヒートアイランド現象は、熱大気汚染として社会的にも認識されており、これまで数kmから数十kmの空間スケールを対象に多くの研究とその対策がおこなわれてきた<sup>1), 2), 3), 4)</sup>。

日本の大都市の多くは海に面して発展してきており、都市の熱環境は海風による冷却効果の影響を少なからず受けている。そのため、ヒートアイランド現象の抑制策の一つとして、この海風を都市部へ積極的に取り込むことが考えられている<sup>5)</sup>。このようなヒートアイランド抑制の観点から、海風など地域特有の風がもたらす都市大気への冷却効果やヒートアイランド現象と海風の相互作用を検討した研究例は多く<sup>6), 7), 8)</sup>、

特に風を都市内に導く「風の道」も提案されている<sup>9)</sup>。

竹林ほか(2005)<sup>10)</sup>は大阪府で暖候期に気温の長期観測をおこない、海風の影響を受けた日中の地表付近の気温分布は海岸からの距離によってほぼ説明されることを指摘している。また、街区スケールでの気象現象に着目した研究として、久保田ほか(2002)<sup>11)</sup>はグロス建蔽率と空間平均風速の関係を明らかにしており、グロス建蔽率が大きくなる場所では地上風速が減少すると報告している。さらに、グロス建蔽率が同等の街区の場合には、建物高度が異なる低層建物群よりもある程度高さのばらついた中層建物群で構成された街区のほうが風速はより大きくなることを見出している。

一方、成田ほか(1992)<sup>12)</sup>は、河川に沿って吹走する海風を効果的に都市部に導くための建物配列について風洞実験をおこなっている。このように、海風の気温緩和効果に関する研究は様々な角度からな

れ、数多くの知見も得られてきた。しかし、海風に関する既往研究では都市大気の冷却効果の観点から、暖候期を対象とした事例がほとんどである。しかし、太平洋側に位置する都市部では寒候期や中間期の海風出現率も多いとされている<sup>13), 14)</sup>。一ノ瀬ほか<sup>15)</sup>は東京23区を対象として、人工排熱の時空間構造が都市気温に与える影響を数値モデルで検討した。その結果、冬季は夏季に比べて都市部への海風侵入が弱くなることで、局所的な人工排熱がその場の気温形成に強く寄与することを指摘している。これにより、夏季に比べて海風侵入の弱い冬季は日中であってもヒートアイランド現象が明瞭に出現すると述べている。したがって、冬季と夏季の海風は吹送距離や吹走時間が大きく異なっており、その動態はヒートアイランド現象を議論するうえで無視できないことがわかる。しかし、暖候期から寒候期までを含めた年間の海風動態が都市部の大気熱環境に与える影響を観測データから検討した研究は極めて少ない。

そこで本研究では、年間を通して晴天日が多く海風がよく卓越する岡山県岡山市を対象に、街区形態が異なる地域において街区スケールでの気温観測を多地点で長期的に実施した。そのうえで、季節・天候別に海風の気流パターンを分類し、街区間の気温差や街区内部での気温のばらつきを明らかにした。さらに、考察として観測地点の空間開放度として用いられている天空率やアスペクト比など街区構造を表すパラメータを算出し、地上気温との対応性を検討していく。

## 2. 研究方法

### (1) 観測概要

観測対象地域は瀬戸内海から約15km離れた平野に位置する岡山市である。その中でも、街区構造が大きく異なる商業街区と住宅街区の2街区を対象街区とした。観測期間は2008年7月31日～2008年9月15日、2009年1月31日～5月10日の計152日間である。

商業街区は5階建て以上の商業用途ビルが密集し、建物と道路が土地被覆全体の約6割を占めている。一方の住宅街区は商業街区の南西約3kmに位置しており、2階建ての低層建物が集中する住居街区である。住宅街区の土地被覆形態は、商業街区と対照的に公園や駐車場・裸地が土地被覆全体の6割以上を占めている。表-1に両街区の街区構造指標を示した。

地上気温の観測は商業街区と住宅街区で測定場所

の街路方向が偏らないように南北通り、東西通り、交差点、公園のそれぞれ2地点ずつ計8地点を選択し、測定機器は街灯を利用して地上高約2.5mに設置した。図-1に商業街区・住宅街区それぞれの航空写真と土地利用図および観測地点を示す。

野外で気温をできる限り正確に測定する際には、温度センサーへの放射を遮断し、空気と温度センサーの熱平衡が効率的におこなえるようシェルター内を強制的に通風して測定するのが一般的である。この強制通風式シェルターやアスマン通風乾湿計は、気象庁の気温測定などにもよく用いられており、測定精度が最も信頼できるとされている。

その一方で、これらの測定器はシェルター自体が大型で、街区内の長期的な観測には不向きであり、理想的な固定型観測をおこなうためには、小型・軽量のものが適している。そこで本研究では、重田ほか(2008)<sup>16)</sup>によって開発された放射除けシェルターに、応答速度が早いサーミスタ温度計(おんどとり Jr. RTR-52; T&D)を組み込み使用した。このシェルターは小型かつ軽量であることから設置場所の自由度が増し、測定場所を借用する際にも管理者の許可が得やすいなど多くの利点がある。

観測には複数の測定器を使用するため、各測定器固有の系統誤差が生じる。そこで、この系統誤差を算出するため、事前に岡山地方気象台の露場内で検定をおこない、解析時には器差校正を施した。その結果、本研究で用いた測定器は、自然通風式でありながら、従来の熱環境を測定する機器と同等の精度を有することが確認された。

海風日の判定の際に必要な日射量は、日射センサー(#6450, DAVIS社製)を用いて観測対象街区から東へ約3kmに位置する開けた郊外で10分毎に測定した。

街区構造指標の1つである天空率は、任意の地表の点から空に見える部分を天球に射影(ここでは等距離射影)し、これをさらに円状水平面に投影したときの円(水平投影面)全体面積に対する割合で求められる。

表-1 両街区の街区構造指標

街区指標	商業街区	住宅街区
平均建物高度(m)	21.6	8.8
平均建物幅(m)	22.0	13.2
平均道路幅(m)	15.4	13.3
グロス建蔽率(%)	26.3	13.5
道路率(%)	31.3	26.2
緑被率(%)	13.5	23.8
駐車場・裸地(%)	28.9	36.6
天空率	0.47	0.70

つまり、天空率が大きい場所ほど建物などの天空をさえぎる障害物が少ないことを意味する。この天空率は、魚眼レンズを装着した一眼レフカメラを用いて各測定地点の地上 0.5m の高さから天空を撮影し、その後、画像から全天写真解析プログラム CanopOn2<sup>17)</sup>によって算出した。

## (2) 解析方法

測定された気温データを暖候期、寒候期、中間期の3期に分類し、晴天日と雨天日の天候別に分けて解析をおこなった。暖候期は2008年8月1~31日、寒候期は2009年2月1~28日、中間期は2009年4月1~31日とし、それぞれの期間で気温を60秒毎に測定した。以後の解析には、10分ごとに中央平均した20分間の平均値を用いる。

岡山平野は瀬戸内海の北側に位置しており、東西を播磨灘と燧灘に挟まれた地理的環境を有する(図-2)。このため晴天条件下の日中には、播磨灘からの南東風向と燧灘からの南西風向をもつ2種の海風が卓越することで知られている<sup>18)</sup>。本研究では、播磨

灘からの南東方向の海風を「南東系海風」、一方の燧灘からの南西方向の海風を「南西系海風」と呼んでいくことにする。以後、この海風風向の違いに着目し、晴天日をさらに「南東系海風日」、「南西系海風日」、「非海風日」の3パターンに分類化した。

海陸風は本来海陸間の温度差に起因して生じる風系に限られるべき現象だが、弱い一般風との区別が困難である。過去の海風出現判定には代表的な方法がなく、文献により様々といえる。その中でも本研究では土田・吉門(1995)<sup>14)</sup>を参考に、岡山地方気象台の観測データから、日積算日照時間が6.0時間以上かつ日積算降水量が0.0mmの無降水日を晴天日、日積算日照時間が3.0時間以下かつ日積算降水量1.0mm以上の日を雨天日とみなした。図-3に以後で説明する海風の気流パターンの判別方法を示す。

本研究での海風日の定義は、晴天日のうち、岡山地方気象台で測定された風向・風速から1日を通して海陸風が卓越した日であつた西日本が概ね高気圧場に支配されており、総観場の気圧傾度が小さい日とした。この総観場の気圧傾度の検討には、図-2中の岡山平

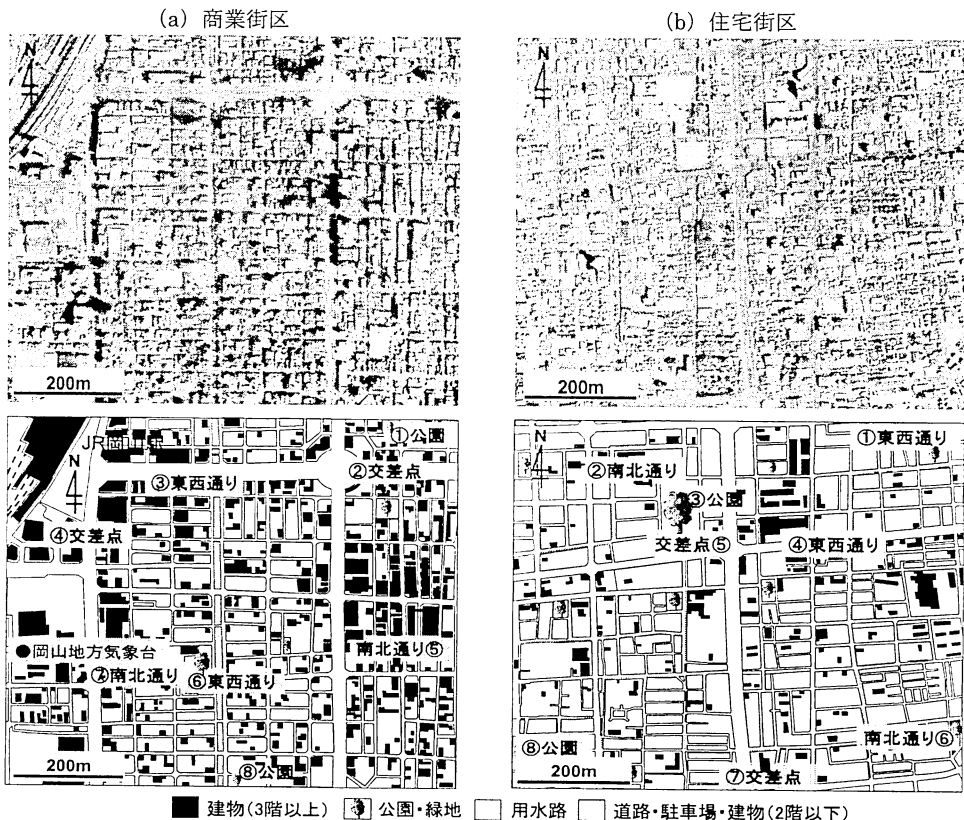


図-1 観測対象とした (a) 商業街区, (b) 住宅街区。両街区の位置関係は図-2を参照。

野から半径約60km以内にある2地点の地方気象台(岡山, 高松)と3地点の特別地域気象観測所(津山, 福山, 姫路)によって観測された現地気圧を海面気圧に補正して用いた. そのうえで, 1日の平均海面気圧の5地点間の最大差が1.0hPa以下, さらに, 正午までの積算日射量が3.0MJ/m<sup>2</sup>以上の日を最終的な海風日と定義した.

南東系海風日と南西系海風日の判定は, 海風が正午までに侵入し, 南東系, 南西系の主風向の変化幅が±22.5°以内(例えば, 南東系海風であれば東南東から南南東)であり, それぞれ同一風向が正午から17時までの5.0時間以上継続する日とした. 一方, 非海風日の定義は海風日と同様に晴天日ではあるが, 南寄りの風向(南南東から南南西)が1日を通して3.0時間

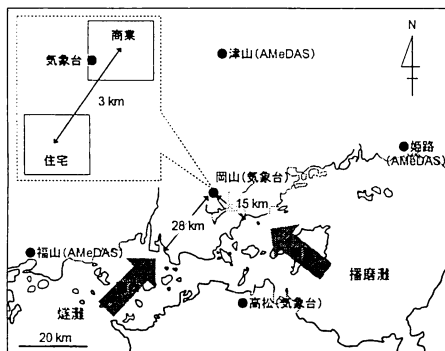


図-2 気圧傾度の計算に用いた5地点と両街区の位置関係および2種類の海風風向.

以下である日とした.

### 3. 結果

#### (1) 商業・住宅街区の空間平均気温

商業・住宅街区の空間平均気温と両街区の気温差(商業街区の気温-住宅街区の気温)を図-4に示す. また, 海風日と定義された日の海風の平均的な侵入・衰退時刻および吹走時刻を表-2にまとめる. ここでいう街区気温とは, 商業・住宅街区それぞれで測定された8地点の気温を空間平均したものを意味する. 両街区の気温は季節と海風風向のパターンごとに分類し, パターン別に時間平均している. 一方, 両街区のあいだの気温差はすべての事例を図示する.

#### ・南東系海風日 (図-4a, b, c)

暖候期は住宅街区のほうが商業街区よりも昼夜を問わず高温な時間が多く存在した(図-4a). 寒候期・

表-2 海風風向のパターン別に平均した海風の侵入・衰退時刻および吹走時間.

海風風向	季節	侵入時刻	衰退時刻	吹走時間
南東系海風	暖候期	10:50	19:30	8:40
	寒候期	11:00	19:00	8:00
	中間期	10:40	18:50	8:10
南西系海風	暖候期	10:00	19:00	9:00
	寒候期	10:40	17:30	6:50
	中間期	10:10	18:50	8:40

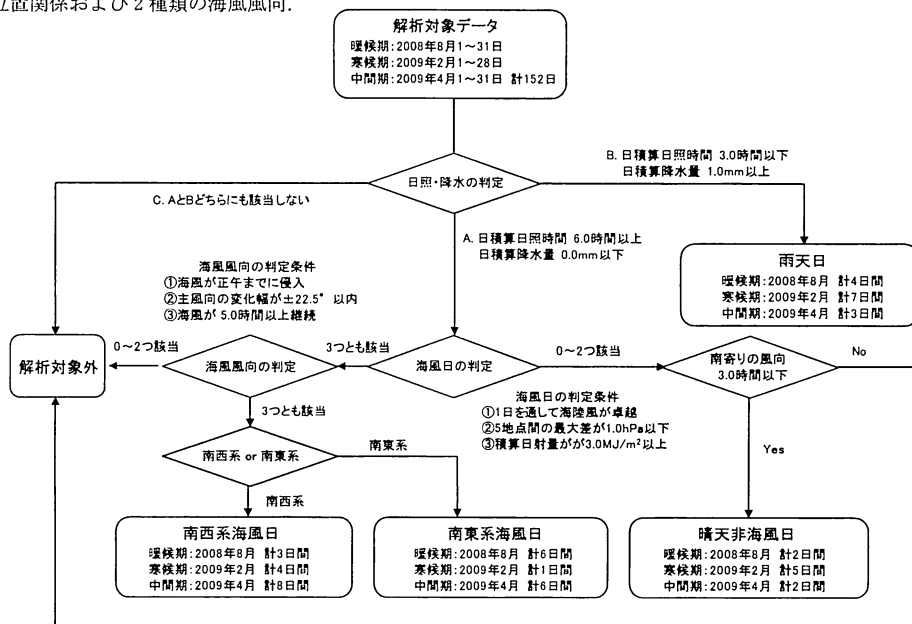


図-3 海風の気流パターン判別方法.

中間期での両街区の気温差は夜間（23：00～6：00）に明瞭であり、特に中間期では最大で2℃近く商業街区の気温のほうが高くなっている（図-4c）．一方で、午前中（6：00～12：00）の気温は夜間と対照的に住宅街区のほうが商業街区よりも高く、特に中間期では最大で1℃を超える差が認められた（図-4c）．

・南西系海風日（図-4d, e, f）

南西系海風日は街区に海風が侵入してくる時間に同期して商業街区の気温のほうが高くなり、特に暖候期での両街区の気温差は最大で1℃近くにも達している（図-4d）．この特徴は前述の南東系海風日にも確認されたが、南西系海風日のほうがより気温差が大きい．寒候期・中間期での夜間の気温は商業街区のほうが高く、その差は南東系海風日と同様に1℃を超えていた（図-4e, f）．

・晴天非海風日（図-4g, h, i）

晴天非海風日は季節によらず夜間に両街区の気温差が大きくなっており、ほとんどの事例で商業街区の気温のほうが高い（図-4g, h, i）．特に、中間期の気温差は、季節の中で最も大きく最大で2℃近くみられた（図-4i）．一方で、両街区の日中（9：00～18：00）の気温差は海風日と同様に夜間よりも小さい（図-4g, h, i）．

・雨天日（図-4j, k, l）

雨天日の両街区の気温差は晴天日（南東系海風日、南西系海風日、晴天非海風日）と比べても小さく、昼夜で特徴的な変動は認められなかった（図-4j, k, l）．

## (2) 気温の空間標準偏差

両街区の気温の空間標準偏差を図-5に示す．ここでいう空間標準偏差とは街区内の気温の空間的なばらつきを表すが、以後はただ単に標準偏差と呼ぶことにする．この標準偏差についても、前述の街区気温差と同様に天候と海風風向のパターンごとに分類した．その結果、同じ分類パターン内で定量的な結論を変えるほどの標準偏差の違いは認められなかった．そのため、ここでは代表的な1事例を示すことにする．また、岡山地方気象台で観測された3時間毎の風向・風速をグラフ上に示す．

・南東系海風日（図-5a, b, c）

南東系海風日の暖候期は、海風侵入時刻に同期して商業街区の標準偏差のみが大きくなっており、住宅街区の標準偏差の2倍以上に達していた（図-5a）．寒候期の標準偏差は暖候期と同様に海風侵入時刻から商業街区のみで大きくなり、最大で住宅街区の約2倍に

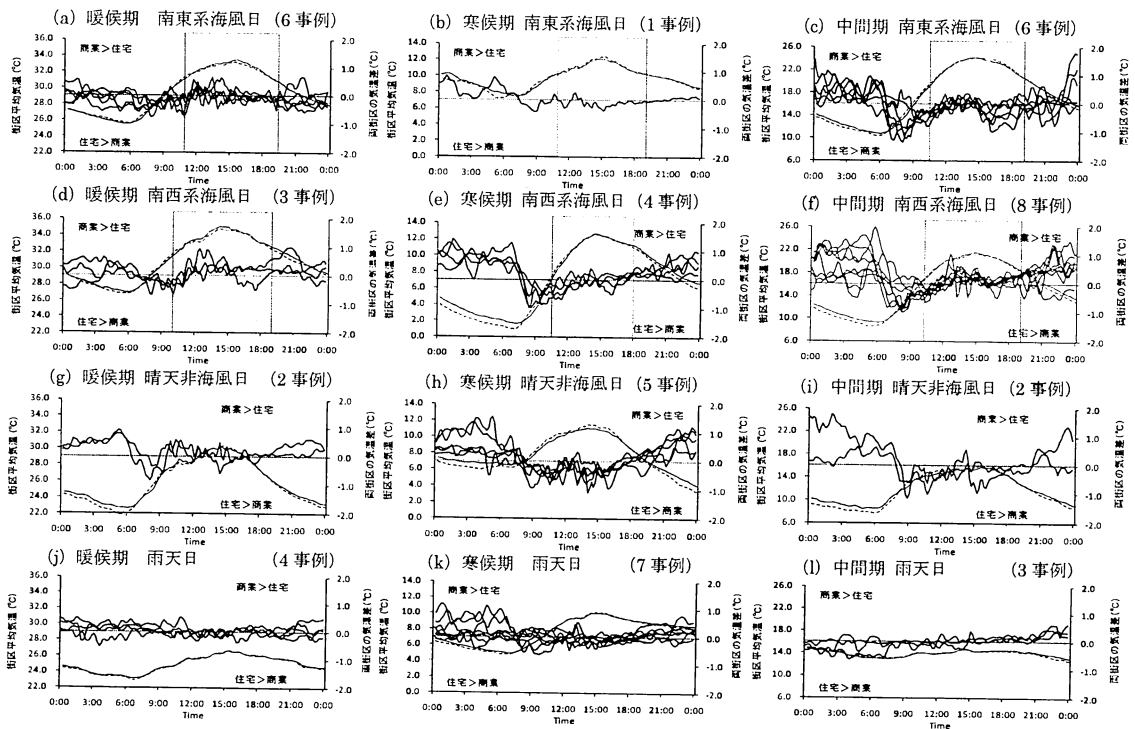


図-4 商業・住宅街区の空間平均気温と両街区の気温差。—：商業街区の気温，—：住宅街区の気温，—：両街区の気温差をそれぞれ示す。括弧内の数値は事例数，■の範囲は海風が街区を吹走していた平均時間を示す。

なっている(図-5b)。一方で中間期の標準偏差は商業街区内で特徴的な分布を示しており、1日のうちで3つのピークが出現していた(図-5c)。1つのピークは海風吹走時の日中(13:00~14:00)に最大約1°Cをもち、住宅街区内の約4倍にまで達していた。残りのピークは朝(8:00)と夕刻(19:00)に認められた。

・南西系海風日(図-5d, e, f)

南西系海風日の暖候期は、南東系海風日と同様に海風侵入の時間帯に商業街区内の標準偏差が大きくなっており、住宅街区内の2倍以上に相当する(図-5d)。寒候期の標準偏差は暖候期と同様に海風侵入時刻から商業街区内のみで大きくなり、最大で住宅街区内の約2倍であった(図-5e)。一方、中間期の標準偏差は、両街区内ともに午前中(7:00~11:00)と海風吹走時の日中(13:00~14:00)および夜間(20:00~24:00)に大きく、その最大値は商業街区内で0.8°Cである(図-5f)。

・晴天非海風日(図-5g, h, i)

暖候期の標準偏差は商業街区内で日中(10:00~16:00)に大きくなっており、最大で夜間の4倍ほどを有している(図-5g)。一方、寒候期と中間期の標準偏差

は1日のうち、ほとんどの時間帯で商業街区内のほうが住宅街区内よりも大きい(図-5h, i)。

・雨天日(図-5j, k, l)

雨天日における標準偏差は季節を問わず両街区内で0.4°C以下であり、1日を通して特徴的な変化は認められなかった(図-5j, k, l)。

## 4. 考察

### (1) 街区気温と天空率の相関分析

街区間の気温と天空率の相関を議論することで、観測地点の空間開放度が気温に与える影響を検討した。両街区内における観測地点の天空率を表-3にまとめる。

両街区内において時刻ごとに気温と天空率のあいだの相関係数をそれぞれ求めた(図-6)。以後、ここでの気温と天空率のあいだの相関係数は、単に相関係数と呼んでいく。相関係数の有意値は、サンプル数8の場合5%有意水準で±0.71である。この相関分析についても、前述までの天候と海風風向のパターンごとに分類してみた。その結果、同じ分類パターン内で日

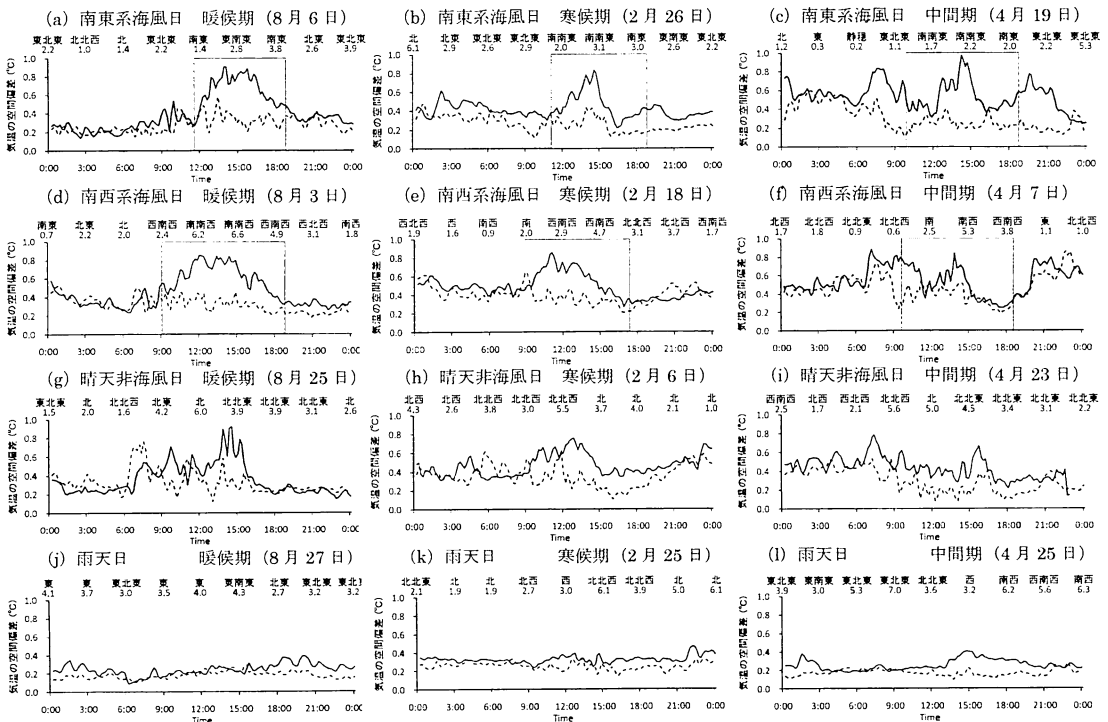


図-5 商業・住宅街区における気温の空間標準偏差。—：商業街区内の空間偏差，---：住宅街区内の空間偏差の時刻変化をそれぞれ示す。の範囲は海風が街区を吹走していた時間を示す。グラフ上の風向・風速は岡山地方気象台で観測された3時間毎の値を示す。

による相関係数の違いはほとんど認められなかったため、ここでも代表的な1事例を示し、述べていくことにする。

・南東系海風日 (図-6a, b, c)

暖候期の商業街区では、有意値を超える負の値が夜間(20:00~6:00)に多く存在していた(図-6a)。このような特徴は、暖候期の6事例中5事例で確認された。しかし、海風侵入に起因した相関係数の変動はいずれの日にも認められなかった。寒候期・中間期の夜間(18:00~6:00)は暖候期と同様に商業街区では有意値を超える負の相関、一方の住宅街区では商業

表-3 各観測地点の天空率。観測地点の位置は図-1を参照。

街区	観測地点	測定場所	天空率
商業街区	①	公園	0.58
	②	交差点	0.58
	③	東西通り	0.47
	④	交差点	0.32
	⑤	南北通り	0.45
	⑥	東西通り	0.50
	⑦	南北通り	0.27
住宅街区	⑧	公園	0.60
	①	東西通り	0.72
	②	南北通り	0.48
	③	公園	0.77
	④	東西通り	0.42
	⑤	交差点	0.71
	⑥	南北通り	0.88
	⑦	交差点	0.79
⑧	公園	0.84	

街区と対照的に有意値に近い正の相関をとる時間帯がみられた(図-6b, c)。

・南西系海風日 (図-6d, e, f)

暖候期の相関係数は南東系海風日と同様、商業街区の夜間(22:00~6:00)においてすべての事例で一時的に有意値を超える負の値を示している。しかし、住宅街区では有意値を超えるような明瞭な相関は認められない(図-6d)。寒候期と中間期の夜間(18:00~6:00)は南東系海風日と同様に商業街区では有意値を超える負の相関が、また住宅街区でも寒候期は有意値を超える正の相関が認められたが、日中(9:00~17:00)では有意な相関がみられなかった(図-6e)。このように、両街区の気温と天空率のあいだには相反する関係が現れていた。

・晴天非海風日 (図-6g, h, i)

暖候期の住宅街区は日中(11:00~14:00)に有意値を超える負の相関が一部の時間帯で認められた(図-6g)。寒候期と中間期は南東系・南西系海風日と同様に、多くの事例で夜間(18:00~6:00)に商業街区で有意値を超える負の相関をとる時間帯がみられた。一方、住宅街区でも一時的に有意値を超える正

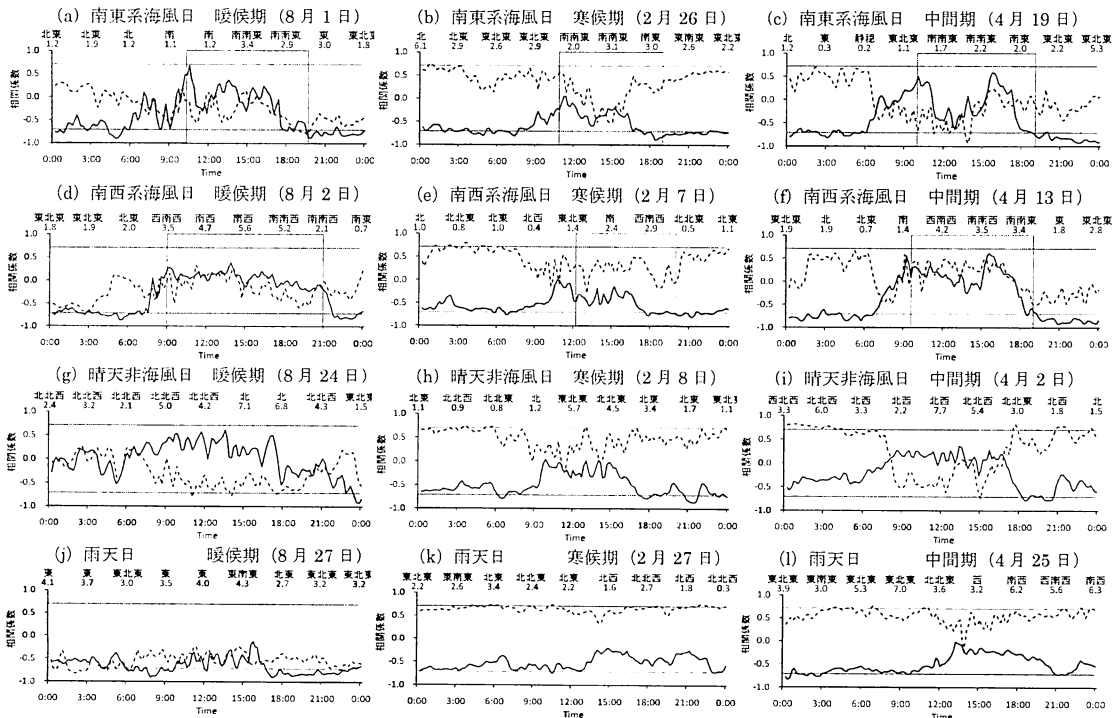


図-6 商業・住宅街区における気温と天空率の相関。—: 商業街区での相関係数, ---: 住宅街区での相関係数の時刻変化をそれぞれ示す。〇の範囲は海風が街区を吹走していた時間、2本の直線は5%有意水準±0.71を示す。グラフ上の風向・風速は岡山地方気象台で観測された3時間毎の値を示す。

の相関が認められた (図-6h, i).

・雨天日 (図-6j, k, l)

雨天日の両街区の相関係数は常に負の値を示しており、一部で有意値を超えている (図-6j)。一方の寒候期・中間期は商業街区で負の相関、住宅街区で正の相関をそれぞれ示し、晴天日の夜間と同様な傾向がみられる (図-6k, l)。しかし、両街区とも晴天日で確認されたような昼夜の特徴的な相関係数の変動は認められなかった。

以上のように、両街区とも海風侵入に起因する相関係数の変動は認められなかった。その一方で、商業街区の気温と天空率の相関は、季節を問わず日中に比べて夜間に負の相関が出現しやすい。これは、街区内の天空率が大きい (空間開放度が大きい) 場所ほど夜間の気温が低く形成されることを意味しており、建物の高層化・高密度化にともない天空率が小さい (空間開放度が小さい) 場所ほど地表面の夜間放射冷却が働きにくいことを示している。

## (2) 街区気温とアスペクト比の相関分析

都市気候学分野で都市キャニオン内の 2 次元的な表面形状を表す指標としてアスペクト比がある。このアスペクト比には建物と建物の間に形成されるストリークの深さと幅で表わされるストリークアスペクト比と、建物高度と建物幅の比で表わされるビルディングアスペクト比の 2 種類が存在する。その中でも、ストリークアスペクト比は街区内の平均建物高度と平均空間幅の 2 つの要素から算出されるため、前述の天空率よりも街区の構造をより端的に表したものと見える。そこで、ここでは街区気温の特性をストリークアスペクト比で議論するため、街区気温とストリークアスペクト比の相関分析をおこなった。本研究では商業街区と住宅街区それぞれの観測地点でストリークアスペクト比を算出した。ストリークアスペクト比

を算出するにあたり、街区構造を表すポリゴンデータの作成をおこなった。ポリゴンデータの範囲は、既往研究<sup>19), 20), 21)</sup>でもよく用いられている 100m 格子を採用した。ポリゴンデータは各観測地点を中心とする 100m 格子内の建物情報ポリゴンデータ ((株)ゼンリンの電子地図 ZProfessional4 とデジタウン) より、観測街区の街区形態を示す建物高度、建物幅、道路幅、グロス建蔽率、道路率、緑被率、駐車場・裸地率をそれぞれ算出した。その後、これらの値を用いて建物表面積と空間幅を計算した。

都市キャニオン内でのストリークアスペクト比は、値が大きいくほど建物間の距離が短い、もしくは建物高度が高いことを意味する。ストリークアスペクト比の算出式を以下の式 (1) に示す。

$$\text{ストリークアスペクト比} = H / W \quad (1)$$

ここで、 $H$  は観測地点を中心とする 100m 格子内の平均建物高度 (m)、 $W$  は平均空間幅 (m) である。なお、 $W$  は以下の式 (2) から求めた。

$$W = \sqrt{\text{公園} \cdot \text{緑地面積}} + \sqrt{\text{駐車場} \cdot \text{裸地面積}} + \sqrt{\text{道路面積}} \quad (2)$$

算出されたストリークアスペクト比 ( $H/W$ ) と街区指標を表-4 にそれぞれ示す。

両街区において時刻ごとに気温とストリークアスペクト比のあいだの相関係数をそれぞれ求めた (図-7)。以後、ここで気温とアスペクト比のあいだの相関係数は、単に相関係数と呼ぶことにする。この相関係数についても、前述の天候と海風風向のパターンごとに分類した。その結果、同じ分類パターン内で比較しても前述と同様に大きな違いはなく、定量的な結論は変わらなかった。そのため、ここでも代表的な 1 事例を示し、述べることにする。

・南東系海風日 (図-7a, b, c)

暖候期の相関係数は、日中 (7:00~18:00) に両街区とも有意値を超える負の値をとる時間帯が存在

表-4 各観測地点の街区指標とストリークアスペクト比。

街区	観測地点	建物高度 (m)	建物幅 (m)	道路幅 (m)	グロス建蔽率 (%)	道路率 (%)	緑被率 (%)	駐車場・裸地率 (%)	建物表面積 (m <sup>2</sup> )	空間幅 (m)	アスペクト比
商業街区	①	10.6	22.9	7.7	20.5	23.9	30.0	25.6	1498.4	89.2	0.12
	②	10.5	30.5	26.0	9.3	58.1	0.0	32.6	2207.4	95.2	0.11
	③	19.8	15.3	29.1	27.9	47.0	0.0	25.2	1445.7	84.9	0.23
	④	53.5	33.8	10.4	36.4	20.5	0.0	43.1	8388.6	79.8	0.67
	⑤	11.3	20.9	7.0	52.5	14.2	0.0	33.3	1378.8	68.9	0.16
	⑥	27.1	23.2	7.4	19.8	24.0	45.1	11.3	3062.3	89.6	0.30
	⑦	27.1	18.3	27.5	26.6	47.5	0.0	25.9	2314.6	85.7	0.32
	⑧	13.2	11.3	8.0	17.3	15.6	32.7	34.5	720.7	90.9	0.14
住宅街区	①	8.0	12.7	19.8	27.7	32.9	0.0	39.4	565.1	85.0	0.09
	②	11.7	17.7	12.5	24.2	19.5	0.0	56.3	1142.0	87.1	0.13
	③	8.0	11.1	7.0	2.4	7.3	87.2	3.2	479.2	98.8	0.08
	④	10.6	10.1	14.0	5.2	31.0	0.0	63.9	534.4	97.4	0.11
	⑤	8.0	15.1	16.6	13.3	39.5	9.9	37.4	709.1	93.1	0.09
	⑥	8.0	14.6	4.9	12.3	13.2	36.3	38.2	681.6	93.6	0.09
	⑦	7.6	11.0	25.0	10.5	51.9	4.4	33.3	456.5	94.6	0.08
	⑧	8.3	13.4	6.4	12.3	13.9	50.6	23.2	628.5	93.6	0.09



する(図-7a)。中でも商業街区は明瞭な負の相関が認められた。つまり、ストリートアスペクト比が大きい(建物が高い、または街路が狭い)場所では気温が低くなりやすいといえる。このような傾向は6事例すべてで確認された。一方、寒候期の相関係数は両街区とも夜間(0:00~3:00)に有意値に近い正の値がみられた(図-7b)。中間期の相関係数は両街区とも暖候期と同様に、日中(10:00~16:00)に有意値を超えるような負の値をとる時間帯がみられる(図-7c)。しかし、海風侵入に起因した相関係数の変動はいずれの日にも認められなかった。

・南西系海風日(図-7d, e, f)

暖候期の相関係数は商業街区のみ日中(14:00~16:00)に有意値を超える負の値が現れていた(図-7d)。一方、寒候期・中間期は南東系海風日とほぼ同様な傾向を示し、両街区とも夜間(21:00~6:00)は有意値に近い正の相関が、日中はゼロもしくは一時的に有意値に近い負の相関がみられた(図-7f)。しかし、海風侵入に起因した相関係数の変動は南東系海風日と同様にみられず、寒候期と中間期では南西系海風日と南東系海風日で大きな差は認められなかった。

・晴天非海風日(図-7g, h, i)

暖候期は両街区とも日中(10:00~17:00)は一時的に有意値を超える負の相関が認められた(図-7g)。寒候期・中間期は住宅街区のみ夜間(18:00~6:00)に有意値を超えるような正の相関が一部でみられた(図-7h, i)。

・雨天日(図-7j, k, l)

雨天日は晴天日で現れたような昼夜での相関係数の変動はみられなかった。暖候期の商業街区では夜間(19:00~6:00)に有意値に近い正の相関が、住宅街区では昼夜を問わず常に有意値に近い負の相関が現れていた(図7j)。一方、寒候期・中間期は住宅街区のみ有意値に近い正の相関が認められたが、商業街区では昼夜を問わず明瞭な相関はみられなかった(図-7k, l)。

このように、両街区とも海風侵入に起因する相関係数の変動は認められなかった。しかし、住宅街区では暖候期以外の夜間に有意値を超える正の相関が出現した。その一方で両街区とも暖候期と中間期の日中の一部の時間帯に負の相関が出現した。つまり、これはストリートアスペクト比が大きい(空間開放度が小

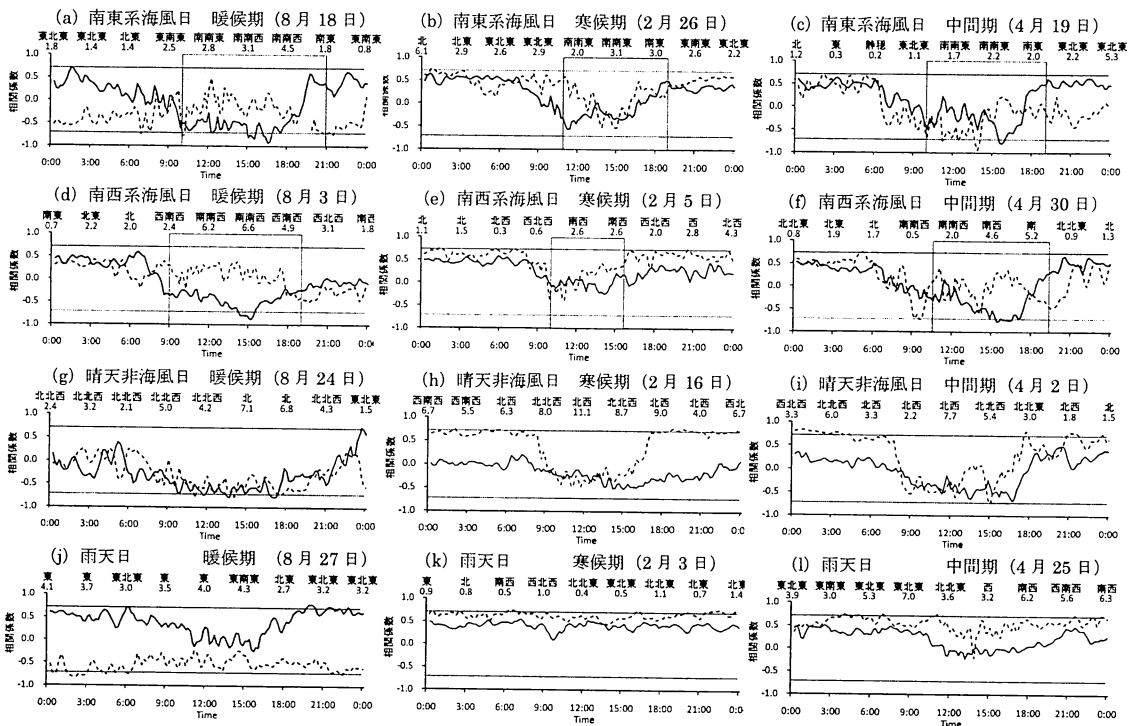


図-7 商業・住宅街区における気温とストリートアスペクト比の相関。—：商業街区での相関係数、---：住宅街区での相関係数の時刻変化をそれぞれ示す。■の範囲は海風が街区を吹走していた時間、2本の直線は5%有意水準±0.71を示す。グラフ上の風向・風速は岡山地方気象台で観測された3時間毎の値を示す。

さい) 場所で気温が低くなりやすいことを意味している。

## 5. まとめ

海風の気流パターンの違いにともなう街区内部での気温のばらつきや、気温と街区指標の対応性を定量的に明らかにするため、本研究ではさまざまな季節を対象として、岡山市の商業街区と住宅街区の各8か所ですべて152日間の気温観測を実施した。その結果、以下のことが明らかとなった。表-5に本研究で得られた街区内部での気温のばらつきや、気温と街区指標の関係をまとめる。

### <両街区の気温差>

- 両街区の気温差は海風風向の違いによらず晴天日の夜間であれば、暖候期を除いたほとんどの事例で商業街区のほうが高く、その気温差は最大で2℃近くであった。
- 暖候期の両街区の気温差は寒候期・中間期に比べて小さい。

### <街区内部の気温のばらつき>

- 気温の空間標準偏差は、海風日であればすべての季節において海風侵入時刻に同期して商業街区のみ大きくなる。
- 非海風日の標準偏差は住宅街区よりも商業街区のほうが大きい。海風日の値に比べれば小さい。つまり、街区内部に海風が侵入してくると、街区内部の気温のばらつきがより大きくなることはいえる。

### <気温と天空率の相関分析>

- 両街区とも海風侵入に起因するような相関係数の変動は認められなかった。
- 商業街区の夜間では、季節や海風の有無によらず

有意な負の相関が認められた。これは、街区内部の空間開放度が小さい場所ほど夜間の気温が高く形成されることを意味しており、商業街区では夜間の放射冷却が働きにくいことがいえる。

- 住宅街区の夜間では、寒候期・中間期の一部の時間帯に正の相関が認められた。

### <気温とストリートアスペクト比の相関分析>

- 両街区とも海風侵入に起因するような相関係数の変動は認められなかった。
- 商業街区の日中では、暖候期と中間期の一部の時間帯に明瞭な負の相関が出現していた。このような特徴は天空率では現れていない。

以上のことから、街区内部での気温のばらつきは風向のパターンに、気温と街区指標の対応性は季節によってそれぞれ変動する。この現象は、土地被覆が混在しキャンビー構造を形成する商業街区でより顕著であった。つまり、この空間不均質性のため、地上付近に達する日射量や街区に侵入する海風気流の風向風速は場所によって大きく異なり、その場の気温を決定づける要因は複雑化すると考えられる。

したがって、このことは気温の空間的代表性という観点からヒートアイランド現象や都市熱環境を議論するうえで決して無視できない問題といえる。

## 謝辞

本研究を進めるにあたり、多大なるご支援をいただきました。(財)八雲環境科学振興財団「平成19年度環境研究助成」に心より感謝申し上げます。また、貴重な観測データを提供して頂きました気象庁、並びに定点型観測点の設置場所を提供して頂きました岡山市公園緑地課の方々にも心より謝意を表します。

## 参考文献

- 梅干野晁, 浅輪貴史, 高田真人, 円井基史: 土地利用

表-5 本研究のまとめ。“街区の気温”は両街区のうちで高温となった街区，“街区内部での気温のばらつき”は空間標準偏差が大きくなる街区を示す。なお、相関分析は有意値を超えた場合に限り、相関係数の符号を付記した。

天候・海風の種類	季節	街区の気温	街区内部での気温のばらつき	気温と天空率の相関(+:正, -:負)	気温とアスペクト比の相関(+:正, -:負)
南東系海風日	暖候期	昼: 商業 夜: 住宅	昼: 商業 夜: 商業	昼: 商業 住宅 夜: 商業 - 住宅 +	昼: 商業 - 住宅 夜: 商業 住宅
	寒候期	昼: 住宅 夜: 商業	昼: 商業 夜: 商業	昼: 商業 住宅 夜: 商業 - 住宅 +	昼: 商業 住宅 夜: 商業 住宅
	中間期	昼: 住宅 夜: 商業	昼: 商業 夜: 商業	昼: 商業 住宅 - 夜: 商業 - 住宅 +	昼: 商業 - 住宅 - 夜: 商業 住宅
南西系海風日	暖候期	昼: 商業 夜: 商業	昼: 商業 夜: 商業	昼: 商業 住宅 夜: 商業 - 住宅 +	昼: 商業 - 住宅 - 夜: 商業 住宅
	寒候期	昼: 商業 夜: 商業	昼: 商業 夜: 商業	昼: 商業 住宅 夜: 商業 - 住宅 +	昼: 商業 住宅 夜: 商業 住宅 +
	中間期	昼: 商業 夜: 商業	昼: 商業 夜: 商業	昼: 商業 住宅 夜: 商業 - 住宅 +	昼: 商業 - 住宅 - 夜: 商業 住宅 +
晴天非海風日	暖候期	昼: 商業 夜: 商業	昼: 商業 夜: 商業	昼: 商業 住宅 - 夜: 商業 - 住宅 +	昼: 商業 住宅 - 夜: 商業 - 住宅 +
	寒候期	昼: 住宅 夜: 商業	昼: 商業 夜: 商業	昼: 商業 住宅 夜: 商業 - 住宅 +	昼: 商業 住宅 夜: 商業 - 住宅 +
	中間期	昼: 住宅 夜: 商業	昼: 商業 夜: 商業	昼: 商業 住宅 夜: 商業 - 住宅 +	昼: 商業 住宅 夜: 商業 - 住宅 +
雨天日	暖候期	昼: 商業 夜: 商業	昼: 商業 夜: 商業	昼: 商業 住宅 夜: 商業 - 住宅 -	昼: 商業 住宅 夜: 商業 - 住宅 -
	寒候期	昼: 住宅 夜: 商業	昼: 商業 夜: 商業	昼: 商業 - 住宅 + 夜: 商業 - 住宅 +	昼: 商業 住宅 + 夜: 商業 住宅 +
	中間期	昼: 住宅 夜: 商業	昼: 商業 夜: 商業	昼: 商業 - 住宅 + 夜: 商業 - 住宅 +	昼: 商業 住宅 + 夜: 商業 住宅 +

- と熱環境対策からみた都市街区におけるヒートアイランドポテンシャルの特徴, 日本建築学会計画系論文集, 第 559 号, pp63-70, 2002.
- 2) 鈴木弘考, 小島隆矢, 島田俊平, 野島義照, 田代順考: 壁面緑化に関する技術開発と課題, 日緑工誌, 31, pp247-259, 2005.
  - 3) 吉田篤正, 木下進一, 村上裕紀: 建築用膜材のふく射特性の測定とヒートアイランド対策としての評価, 日本機械学会第 16 回環境工学総合シンポジウム 2006 講演論文集, pp392-395, 2006.
  - 4) 土屋貴史, 大岡龍三, 陳宏, 黄弘: 数値シミュレーションを用いた実在街区における各種ヒートアイランド対策が屋外温熱環境に与える影響の把握, 日本建築学会環境系論文集, 第 630 号, pp.1021-1027, 2008.
  - 5) Masuda, Y., Ikeda, N., Seno, T., Takahashi, N. and Ojima T.: A Basic Study on Utilization of the Cooling Effect of Sea Breeze in Waterfront Areas along Tokyo Bay, Journal of Asian Architecture and Building Engineering, Vol. 4No. 2, pp. 483-487, 2005.
  - 6) Yoshikado Hiroshi: Interaction of the Sea Breeze with Urban Heat Islands of Different sizes and Locations, Meteorological Society of Japan, pp. 139-143, 1994.
  - 7) 清田忠志, 谷口明, 清田誠良, 中村安弘: 都市域におけるヒートアイランド現象の緩和対策に関する研究 その 1 広島市の都市域における海陸風および風の時間帯での気温の特性, 日本建築学会環境系論文集, 第 602 号, pp. 69-75, 2006.
  - 8) 十二村佳樹, 渡辺浩文: 夏季の広域都市気温分布実態と風が緑被率と気温との関係に及ぼす影響に関する研究 - 東北地方沿岸都市・仙台における長期多点測定結果に基づく分析-, 日本建築学会環境系論文集, 第 612 号, pp. 83-88, 2007.
  - 9) 日本建築学会: 都市環境のクリマアトラス, ぎょうせい, pp.1-113, 2000.
  - 10) 竹林英樹, 森山正和: 海風の影響を受けた都市のヒートアイランド現象, 日本建築学会技術報告集, 第 21 号, pp.199-202, 2005.
  - 11) 久保田徹, 三浦昌生, 富永禎秀, 持田灯: 風通しを考慮した住宅地計画のための全国主要都市におけるグロス建ぺい率の基準値, 日本建築学会計画系論文集, 第 556 号, pp107-114, 2002.
  - 12) 成田健一: 都市内河川の微気象的影響範囲に及ぼす周辺建物配列の影響に関する風洞実験, 日本建築学会計画系論文報告集, 第 442 号, pp. 27-36, 1992.
  - 13) 藤部文昭: 海陸風の季節的特性, 天気, 28, pp. 367-375, 1981.
  - 14) 土田誠, 吉門洋: 東京湾岸の冬季の海風, 天気, 42, pp. 283-292, 1995.
  - 15) 一ノ瀬俊明, 下堂菡和宏, 鶴野伊津志, 花木啓祐, : 細密地理情報にもとづく都市気候数値シミュレーション地表面境界条件の高精度化, 天気, 44, pp. 785-797, 1997.
  - 16) 重田祥範, 大橋唯太, 亀卦川幸浩, 井原智彦: 東京・大阪における街区気象と需要エネルギーの計測 (1) - 小型計測機器の開発と視測ネットワークの構築 -, 日本気象学会 2008 年度秋季大会講演予稿集, pp. 201, 2008.
  - 17) 全天写真解析プログラム Canop0n2 : <http://takenaka-akio.cool.ne.jp/etc/canopon2/>
  - 18) 佐橋謙: 岡山周辺の海陸風について, 天気, 25 pp. 357-363, 1978.
  - 19) 環境省: 平成 13 年度ヒートアイランド対策手法調査, 検討業務報告書, 2002.
  - 20) 李海峰, 高偉俊, 吉田公夫, 湯屋博史, 尾島俊雄: 地理情報を用いた地域の熱環境評価システムに関する研究, 日本建築学会計画系論文報告集, 第 518 号 pp. 67-73, 1999.
  - 21) 吉田伸治, 大岡龍三, 村上周三, 原山和也: CFD 解析による人工排熱が都市のヒートアイランドに及ぼす影響の検討, 日本建築学会北陸支部研究報告集, 第 45 号, 2002.

## Influence of Differences in Urban Structure on Atmospheric Thermal Environment - Spatial Heterogeneity and Seasonal Characteristics of Air Temperature -

Yoshinori SHIGETA, Yukitaka OHASHI and Osamu TSUKAMOTO

We observed the long-term seasonal temperatures within commercial and residential districts to clarify

relationships between the sea-breeze flow patterns and the district temperature features. The observations were conducted at eight sites within each district for 152 days. Consequently, the temperature spatial variances depended on the wind direction, and the correlation between the temperatures and the urban district parameters varied with season. The spatial standard deviation of temperature at the commercial district became to increase with an arrival time of the sea breeze in any season. Through the correlation analysis between the temperatures and the urban district parameters, correlation coefficients at both districts did not vary distinctly due to the sea-breeze arrival. However, not only the nighttime temperature decreases but also the daytime temperature increases were suppressed at small spatial openness (sky view factor and street aspect ratio) within the commercial district.