

大都市が周辺の郊外地域に与える熱の移流特性

Characteristics of the thermal advection of the urban area
and the thermal environment of the rural area

藤野 毅^{*}・黒川 潮^{**}・浅枝 隆^{***}・和氣重紀夫^{****}

By Takeshi FUJINO, Chishio KUROKAWA, Takashi ASAEDA and Akio WAKE

Sea breeze and geostrophic wind which blow from the south not only cool the air in the center of Tokyo but remove a large amount of heat flux produced there to the leeward. In order to evaluate this influences, temperature field of the Tokyo metropolitan area was analyzed by using a turbulent closure model.

As a result, the relation between the strength of geostrophic wind and a rise in temperature of suburban area was revealed.

key words; heat island, sea breeze, thermal advection,
geostrophic wind, urban environment

1. はじめに

東京をはじめとするわが国の大都市は、そのほとんどが海岸沿いに位置している。このような大都市では、地表面のほとんどの部分が舗装され、建物が密集し、そこからは自然発生熱の増加に加えて人間活動による膨大な熱エネルギーが排出される。一方、海岸地域は日中、海面との温度差により海風が生じ、内陸に向けて大気の輸送が盛んに行われる。従って、海岸にこのような都市が存在すれば、そこから排出される多量の熱が海風によって運ばれ、その熱は風下に当たる地域の気温形成に影響することが予想される。これまでに、海風に関する研究は数多くなされてきたが、海岸沿いに大きな都市がある場合にこの海風が、その周辺部の気温形成にどの程度影響しているのかは余り知られていない。筆者らは前報で、夏季の首都圏の最高気温を記録する所は最も大きな熱源である都心部ではなく、風下に位置する郊外地域で生ずるという事実について、南からの海風、場合によっては地衡風による都心部からの熱の移流効果にあることを指摘した(藤野ら(1993))。そこで、今回は数値解析から、海風や地衡風の向きと強さによって、この熱の移流が郊外地域の気温形成にどの程度影響を及ぼしているのかを定量的に見積った。

学生員 工修 埼玉大学大学院

(〒338 浦和市下大久保 255)

^{**} 正会員 工博 埼玉大学工学部 助教授

^{***} 埼玉大学学生

^{****} 正会員 Ph.D 清水建設 技術研究所

(〒135 江東区越中島 3-4-17)

2. 夏季の晴天日の気温の日変化

首都圏のよく晴れた夏の日の気温の日変化と、同日における地表面温度の日変化を比較してみよう。まず、地表面温度は、渡辺ら(1993)が調査した結果を元に整理すると図1(a)-(c)のように示される。これより、朝では都心部から都心西部に高温域が存在し、郊外との温度差は 2°C 以上ある。これが昼になると、高温域は都心部を中心に大きく広がり、郊外でも都市化が進んだ地域はほとんど 40°C 前後に達する。夕方になると、再び都心部だけが高温となる。次に、気象庁と各大気保全局の測定を元に得られた気温分布を示すと、図2(a)-(c)のようになる。まず、朝には都心部に高温域が存在し、ちょうど地表面温度分布と対応した形になっている。しかし、昼間は都心北側、すなわち埼玉県南地方に明瞭な高温域が現れ、地表面温度と大きくずれていることがわかる。このずれには、一つには都心部では郊外よりもビルキャノピーが高く地表に到達する日射量に差が生ずることによる効果が考えられるが、最も大きな要因として、海風や季節風の効果がある。そこで、風向の日変化の異なった日における都心部と郊外の気温の日変化を調べる。まず、午前中に北風が卓越し、午後海風によって南風となる場合では、はじめは都心部の方が気温が高いが午後になると逆転する(図3(a), (b))。しかし、1日中南風が卓越する日では、午前中から都心部と郊外の気温差は小さくなり、日中には郊外の方が気温が高くなる(図4(a), (b))。以上のことから、この地域の温度場の形成には、土地利用状況よりも海風や季節風による影響が大きいと考えられる。

3. 数値解析

これらの観測データを元にして、Yamada and Mellor(1974)の乱流クロージャーモデルを用いてこの地域の温度場、風速場の解析を行った。境界条件として、土地利用毎に熱伝導率と熱容量のパラメーターを実際の地表面温度と一致するように与えた。境界条件として、3 kmの高さに地衡風を与え、また、初期の風速分布は対数則で与えた。また、都心部と郊外の初期の地表面温度差を 2°C とした。この条件のもとで、たかさ3 kmに設定した地衡風の強さを変化させて地衡風の強さと地表面付近に生ずる現象の関連について考察を行った。

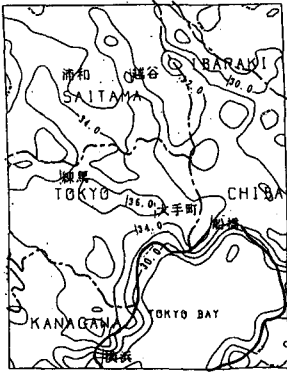
4. 解析結果

4. 1 北から地衡風が吹く場合

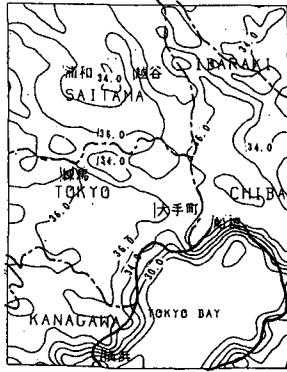
まず、北から弱い地衡風が吹いている場合、地上付近でも午前中北から弱い北風が吹く(図5(a) $U_g = -1$)。この場合には、正午ごろに海風前線が沿岸部に進入し、その先端には強い上昇流が存在する。この時、都心部では周辺よりも地表面温度が高く、別の弱い上昇流が生じている。その後海風が都心部に達すると、2つの上昇流が合体してさらに強い上昇流ができあがる。この海風前線の風上側ではこの強い上昇流によって水平方向に大きな温度勾配が生じている。これが午後になると海風前線は徐々に内陸に進入し、都心部の上空の気温は、東京湾からの冷たい空気塊が流入するため下がる。この効果によって、都心部の気温は郊外の気温とほぼ同じになる。しかし、その後は地表面温度が下がり、これ以上海風は進まなくなる。このような気温の日変化は、観測値の図3で示した場合と一致する。この北風がさらに強くなると、海風の進入が内陸まで及ばず、上空の気温は日中を通して都心部の方が高くなる。

4. 2 南から地衡風が吹く場合

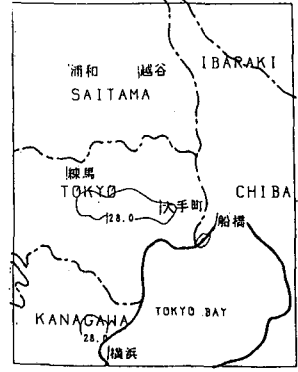
次に、南から弱い地衡風が吹く場合では(図5(b) $U_g = 1$)、日中、先端に上昇流を持った海風が都心部に進入するが、地衡風が海風に対して追風になるので、上昇流が風下に流され、それに引きずられて下層の海風が強められる。また上昇流の向きが風下向きになるため水平方向の温度勾配は緩やかになる。このように強められた海風は都心部上空を貫通し、その間に大気を冷却する。従って、この時点で内陸側の郊外の方が気温が高くなっている。さらに南風が強まる場合では(図5(c) $U_g = 5$)、午前中から地上付近の風速も大きくなり、都心部上空の高温域は風下に流され、内陸側の郊外と気温差は $U_g = 1$ の場合よりも小さくなる。このよ



(a) 午前9時

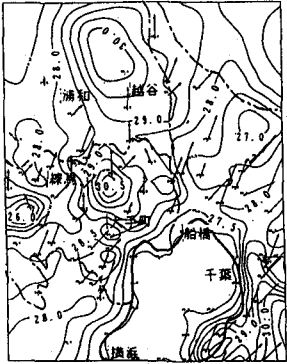


(b) 午後3時

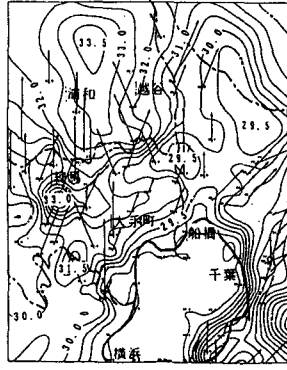


(c) 午後6時

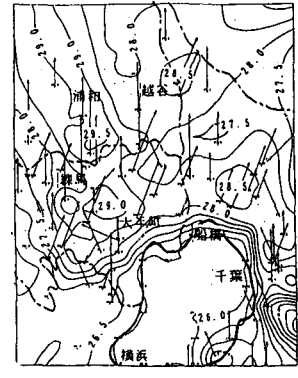
図1 地表面温度分布図



(a) 午前9時

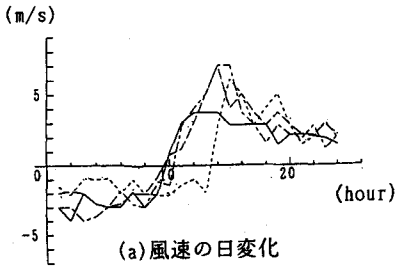


(b) 午後3時

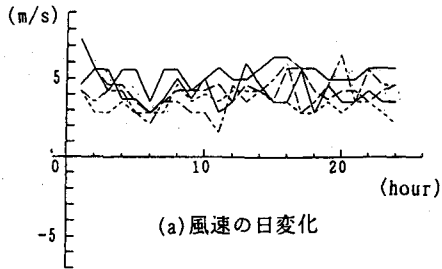


(c) 午後6時

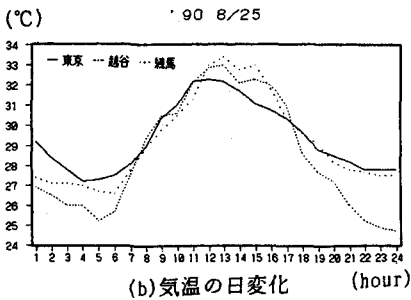
図2 気温風速分布図



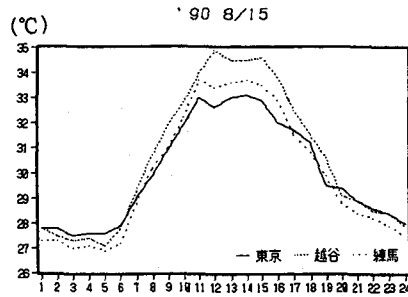
(a) 風速の日変化



(a) 風速の日変化



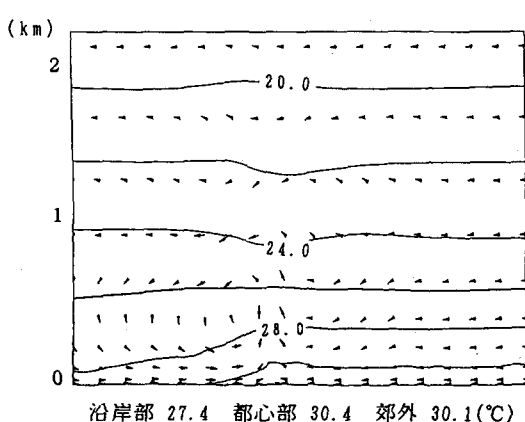
(b) 気温の日変化



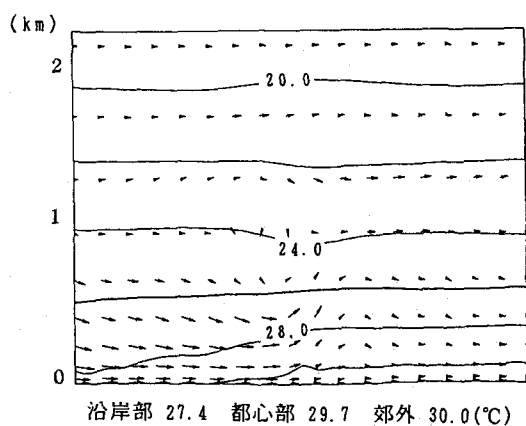
(b) 気温の日変化

図3

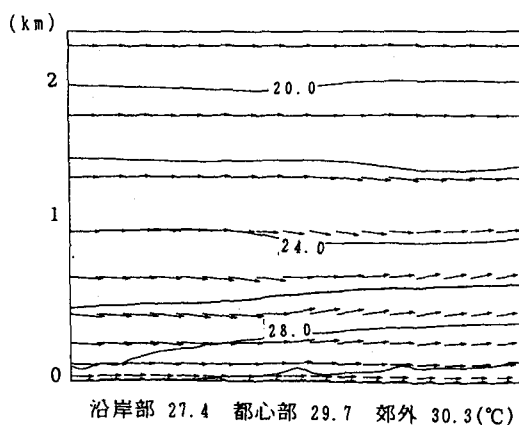
図4



(a) 地衡風, 北から1m/s, 15時



(b) 地衡風, 南から1m/s, 15時



(c) 地衡風, 南から5m/s, 15時

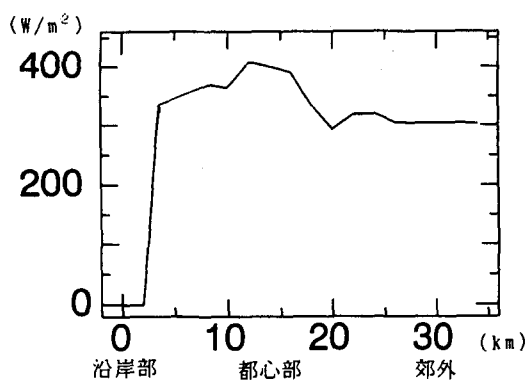


図6 顕熱フラックス分布図(12時)

図5 沿岸部から郊外までの風速、気温の鉛直断面図

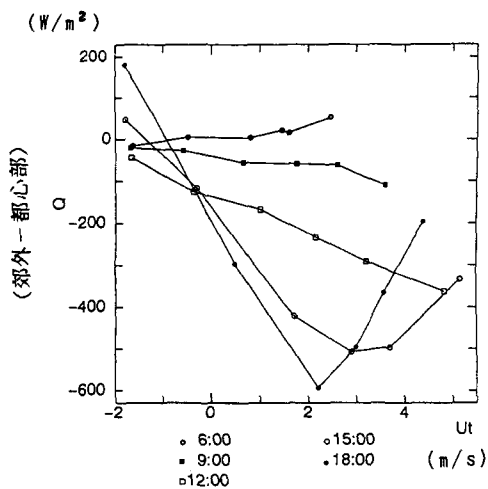


図7 水平方向の熱フラックス収支量
(横軸は都心部での風速)

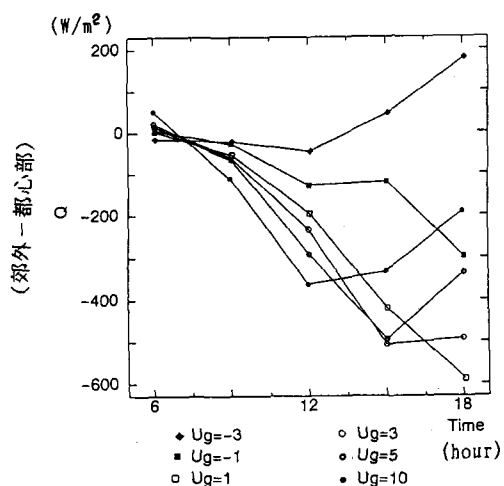
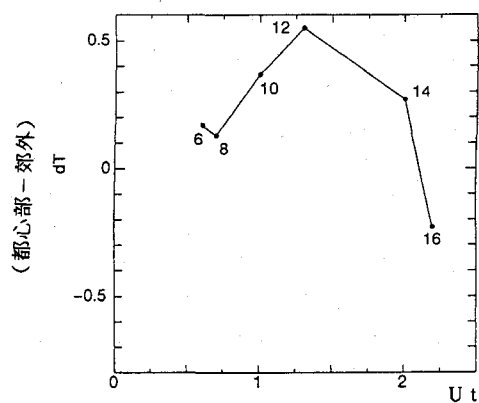
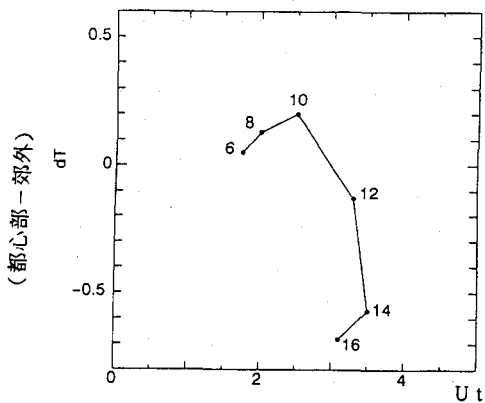


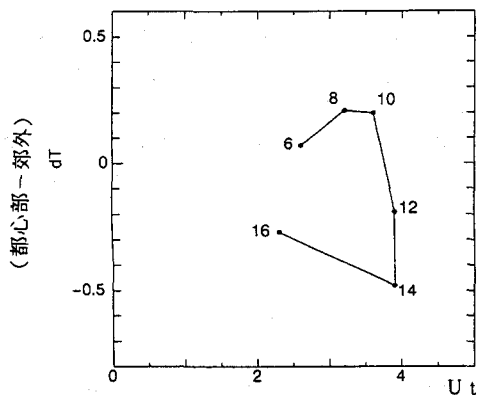
図8 熱フラックス収支量の時間変化



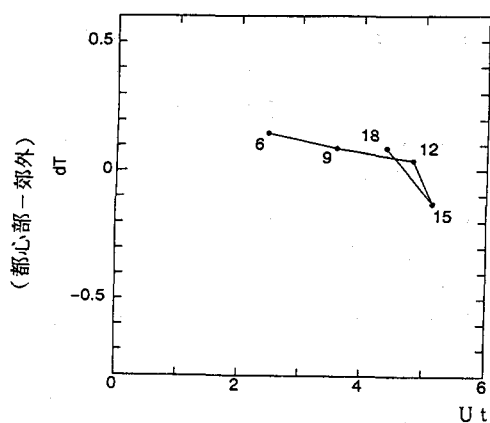
(a) $U_g = 1$



(b) $U_g = 3$



(c) $U_g = 5$



(d) $U_g = 10$

図9 地衝風の強さと気温差の関係 (図中の数字は時刻を表す)

うな気温の日変化は、観測値の図4に相当する。これには、都心部が海風によって冷却されたためだけではなく、このように都心部からの熱の移流効果によって、郊外が暖められる効果が寄与していると考えられる。これについては次の節で述べる。

5. 都心部からの熱の移流効果

次に、都心部から郊外にかけて、地表面から出される顕熱フラックス分布を図6に示す。日中には都心部で $400\text{W}/\text{m}^2$ も放熱があり、郊外よりも $100\text{W}/\text{m}^2$ 以上多い。従って、都心部の上空の大気は郊外よりも暖められることになるが、都心部上空の大気は南からの海風の進入によって冷やされるため、多量の顕熱が生じているにも係わらず気温の上昇は起きなくなる。しかし、一方では、図5で示したように、郊外上空の大気は都心部から出される熱フラックスの移流効果でわずかながら暖められている。そこで、今度はこの量を評価してみよう。通常接地境界層は高さ数十mまでであるのでここでは高さを100mまでとり、都心部の大手町

から15km北に位置する郊外の越谷市までの空間について、出入りする熱フラックスの収支を図7に示す。これより、ほとんどの地衡風の場合において、都心部から郊外に移流される熱フラックスは時間の経過と共に大きくなり、さらに正午までは都心部の風速が大きくなるほどその量は増加するのがわかる。しかし午後の3時以降は、風速が2mから3mのところでは熱の輸送量が頭打ちになる。これをもう少し見やすくしたのが図8である。都心部から郊外への熱の移流は、地衡風の強さが大きいほど増加するが、地衡風が3m/s以上になると、ある時刻でそれが頭打ちになる。しかも、地衡風の強さが大きいほどその時間も速く現れ、その後の熱の移流の減少も大きくなっている。これは、海風が強く吹き込むことによって都心部のヒートアイランドが壊され、午後になるとこの風によって内陸の郊外も覆われてしまうことから、気温差がほとんどなくなっているためである。最後に、都心部での風の強さ(U_t)と、郊外との気温差の関係を図9に示す。これより南風が吹くと、午後には気温が逆転するが、地衡風の強さによって逆転する時刻が変化し、温度差が逆転する規模も異なる。すなわち、南からの地衡風が弱すぎると、温度の逆転は夕方わずかに生じるだけで、また、強すぎると温度差の変化は小さくなる。ちょうど、海風が都心部を通りぬけるが、あまり郊外には強く影響しないところの強さで気温差の逆転が強められることがわかった。

6. おわりに

数値解析によって、海風、あるいは地衡風が大都市から放出される熱を風下側の郊外に輸送し、その結果それが内陸の大気を加熱させていることが明らかになった。もちろん日中、内陸で発生する高温域は、都市域の拡大によって、地表面からの顕熱フラックスが増加しているためとも考えられる。しかしながらこれらの2つの効果によって、このような位置関係にある内陸側の、都市化に伴う熱環境の変化は極めて大きくなることが予想される。今回は、東京地方を対象に解析を行ったが、このような位置関係にある地域では、同様な現象が起こることが予想される。

参考文献

- 1) 浅枝隆・永沼崇彦・鈴木水弘・塩崎修男：都市域の温暖化における舗装の蓄熱効果，水工学論文集，第35巻，pp.591-596，1991.
- 2) 藤野毅・浅枝隆・孟岩・和氣亜紀夫：埼玉県南地方を対象にした郊外型ヒートアイランドの特徴，水工学論文集，第37巻，pp.361-366，1993.
- 3) 藤野毅・浅枝隆・和氣亜紀夫・藤野愛子：埼玉県南東部における温暖化機構の解析、環境システム研究、Vol.21 pp.1-pp.6，1993.
- 4) 渡辺浩文・依田浩敏・尾島俊雄：リモートセンシングデータと数値情報利用 による広域都市の地表面温度分布図の作成に関する研究，日本建築学会計画系論文報告集，No.443，pp21-29，1993.
- 5) 藤部文昭：関東平野における春・夏季晴天日の気温分布の日変化，天気，Vol.40，No.10，pp759-767，1993
- 6) 吉門洋：海岸の都市が海風と汚染質拡散に与える影響の数値実験，天気，Vol.37，No.10，pp681-688，1993
- 7) H.Yosikado：Vertical Structure of the Sea Breeze Penetrating through a Large Urban Complex：Journal of Applied Meteorology，29，pp878-891，1990
- 8) Mellor,G.L. and T.Yamada：A Hierarchy of Turbulent-Closure Models for Planetary Boundary Layers：J.Atmos.Sciences，31，pp1971-1806，1974.