

海風侵入が福岡都市圏の大気熱環境に及ぼす影響

THE EFFECT OF SEA BREEZE ON THERMAL ENVIRONMENTS IN FUKUOKA METROPOLITAN AREA

久田由紀子¹・松永信博²・安東聡³

Yukiko HISADA, Nobuhiro MATSUNAGA and Satoshi ANDO

¹学生会員 (修) 工 九州大学大学院 総合理工学府 (〒816-8580 福岡県春日市春日公園6-1)

²正会員 工博 九州大学大学院教授 総合理工学研究院 (〒816-8580 福岡県春日市春日公園6-1)

³学生会員 九州大学大学院 総合理工学府 (〒816-8580 福岡県春日市春日公園6-1)

To understand the heat island structures of Fukuoka metropolitan area, 71 thermometers were set in the meteorological instrument shelters of elementary schools. In the present study, the data of air temperature obtained at the 71 sites in the summer seasons of 2003 and 2004 were analyzed to reveal the effect of sea breeze on the heat island structures. The classification of the occurrence of sea breeze and the non-occurrence were made based on the data of wind speed and wind direction at Fukuoka District Meteorological Observatory. In the case when the sea breeze was generated, the air temperature of the downtown area fell by about 4 °C at the maximum value. The wind speed of sea breeze and the fall of temperature are dependent on the amount of solar radiation for 1 hour after the intrusion of the sea breeze.

Key Words: heat island, sea breeze, Fukuoka metropolitan area

1. はじめに

近年,多くの都市で高温化現象が問題になっている。福岡都市圏でも1900年から2000年の間に平均気温が2.5 上昇しており,1985年以降の夏季に限れば10年間で0.39 も上昇している。ヒートアイランド現象が深刻化すると,真夏日・熱帯夜の増加などにつながり,空調設備のエネルギー消費量の増加,熱中症の増加などが引き起こされる。

現在ヒートアイランド現象の対策として海風による緩和効果が注目されている。十二村ら¹⁾は,仙台市域における海風の主方向である南東成分風速と気温の関係から,海風による気温上昇抑制効果を評価している。岩谷ら²⁾は,福島県原町市において山から風が吹く日と海風が吹く日の比較により,海風発生日の気温低下を検討している。石井ら³⁾は,大阪平野における海陸風について数値シミュレーションを用いて解析し,海風の流入による気温上昇抑制効果を検討している。

都市高温化が深刻化している福岡都市圏においても,その地形的特徴から海風が高い頻度で発生していることが知られている⁴⁾。しかしながら,大気熱環境に及ぼす海風の影響についてはほとんど研究さ

れていないのが現状である。海風がヒートアイランド現象に与える影響を明らかにすることは,都市高温化対策を行う上で非常に有効であると考えられる。

我々は,福岡都市圏において2003年夏から気温の長期多点同時観測を行い,ヒートアイランド現象の実態解明を試みている。本報告では,2003年と2004年の夏季に得られた観測データと福岡管区気象台のデータをもとに,海風発生日と海風非発生日を抽出し,海風がヒートアイランド現象に与える影響について検討した。

2. 観測方法

観測地点として,福岡都市圏の小学校71校と九州大学農学部附属福岡演習林が所有する百葉箱を使用した。百葉箱の設置状態は小学校によって大きな違いがある。観測誤差を極力小さくするため,測器を設置する際には百葉箱の状態をひとつひとつ確認した。確認事項としては,百葉箱設置場所の地表面状態,周辺地表面状態,建物との距離,日当たり,雨漏りの可能性,風通し等であり,総合的に状態の良い百葉箱を採用した。71観測地点は約4km²(2km×2km)に1個の割合で,建物が密集する都心部から郊

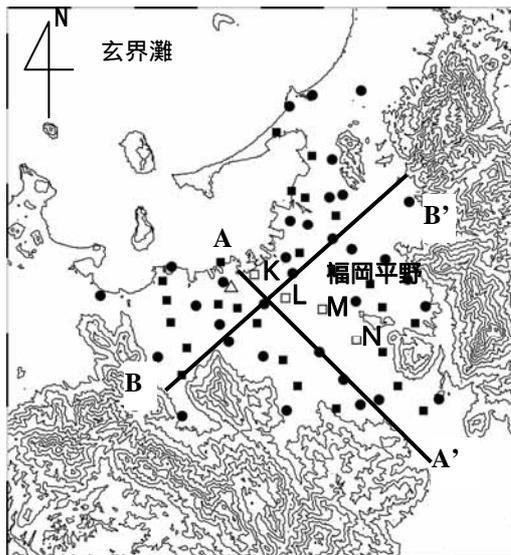


図-1 福岡都市圏の地形および測器設置点。
丸印は温度計，正方形は温湿度計，
三角形は福岡管区気象台の位置を示す。

外にかけて一様に分布している。

使用測器は，SK-L200T(温度計)33個，SK-L200TH(温湿度計)33個およびJr.TR-52(温度計)5個であった。これらは器差0.2以内であり，5分間隔で気温データを取得するように設定した。本論文では，これらの測器の中でデータ欠損およびデータ異常のない温度計34個，温湿度計28個のデータを使用した。図-1に福岡平野の地形および測器の設置点を示す。K，L地点は福岡都市圏の都心部である。福岡平野の北側には玄界灘が広がり，東側と南西側は高さ600～1000m級の山に囲まれている。設置点の標高差は40m以内であり，標高差による気温差は0.24以内と見積もられた。本研究では器差によるデータ補正と標高差によるデータ補正は行われておらず，従って±0.5程度の気温差については議論できないことに注意する。図中の丸印は温度計設置地点，四角形は温湿度計設置地点，三角形は福岡管区気象台をそれぞれ示している。解析ラインとして，A—A'ラインを海風侵入経路に沿う方向に設定し，B—B'ラインは都心部を通り，かつA—A'ラインとほぼ直交するように設定されている。K～N地点は4節の解析で使用する観測点であり，海風の侵入方向に並んでいる。

本論文では，日平均気温が25以上となった日が4日以上連続する最初の日から，25未満となった日が4日以上連続する期間の前日までを夏季と定義し，解析期間を決定した。従って解析期間は，2003年7月18日から9月13日および2004年6月14日から9月14日までの計151日間であった。2003年夏季の福岡における平均気温の平年差は-0.4，降水量の平年比は121%，日照時間の平年比は78%であり，2004年夏季はそれぞれ+1.4，60%，116%であった。

表-1 福岡都市圏における海風日抽出条件

条件	各月の最も早い日の出時間から19JSTまでに3時間以上連続でWNW～NNE方向の風
条件	2JST～5JSTにWNW～NNE方向の風が占める割合が1/3以下
条件	5JST～12JSTの降水量が1時間あたり2mm以下かつ積算値が4mm以下
条件	6JST～13JSTの全天日射量の積算値が9MJ/m ² 以上

3. 海風発生日と海風非発生日における

気温分布の経時変化

福岡都市圏ではその地形的特徴から，高頻度で海風が侵入することがわかっている。その侵入方向は北から北西寄りであり，福岡管区気象台における侵入時刻は7JSTから13JSTの範囲にあった。福岡都市圏において，海風発生日を抽出するための気象条件を表-1に示す。これら4つの条件すべてを満たした日を海風発生日と定義した。使用するデータは，福岡管区気象台において取得された時別値及び10分値データである。これらの条件に従い海風発生日を抽出した結果，海風発生日は64日間であった。このうち2日は台風の影響を受けていると判断し除外した。最終的には62日間が海風発生日として抽出されたが，このような条件のもとで抽出された海風は，主として熱対流による海風であることに注意する。海風非発生日として，解析期間151日から海風発生日64日を除き，その中から日中の風向がほぼ南寄りとなる日を66日抽出した。

海風発生日における6JSTから18JSTまでの風向・風速データから求めた風向・風速出現確率分布図を図-2(a)に示す。海風非発生日の6JSTから18JSTにおける風向・風速出現確率分布図を図-2(b)に示す。半径方向は風速，方位は風の侵入方向，等値線の値は発生確率の常用対数を取ったものである。等値線の実線の間隔は0.5，破線の間隔は0.1である。海風発生日においては，北北西および北寄りの風で，風速3m/s～6m/s程度の風の発生確率が最も高く現れている。これが福岡都市圏に侵入する海風の特徴である。海風非発生日において，北北西および北寄りの風の発生確率は，海風発生日の発生確率よりもかなり小さくなっている。また，南南西から南東寄りの風で，風速5m/sの風も同程度の確率で出現している。

海風発生日の一例として2003年8月2日の気温分布の経時変化を図-3に，海風非発生日の一例として2004年7月12日気温分布の経時変化を図-4に示す。図-3(a)～(c)は，それぞれ海風侵入前1030～

1130JSTの1時間平均，侵入時1130JSTから1時間の平均，侵入2時間後の1330JSTから1時間平均された気温分布である．図 - 4(a) ~ (c)は，それぞれ図 - 3(a) ~ (c)と同じ時間帯の平均気温分布である．実線で示された等温線の間隔は1、破線で示された等温線の間隔は0.2 である．海風発生日の海風侵入時刻は1130JST，日中の主な風向は北北西，1130JSTの風速は3m/s，一日の積算日射量は24.5MJ/m²であった．海風非発生日の主な風向は南南西，1130JSTの風速は5m/s，一日の積算日射量は24.5MJ/m²であった．図 - 3 (a) ~ (c)で示されるように，時間の経過とともに，海岸線に平行に伸びた等温線分布が内陸域にまで及んでいる．図 - 4 (a)では都心部を中心に31 台の等温線が広く分布しており，内陸域が1 前後低くなっている．(b)では全体的に0.5 上昇しており等温線の形状は変わらない．(c)になると都心部を中心に高温域が形成され内陸域に比べ2 ほど高くなっている．

図 - 5(a)，(b)に海風発生日および海風非発生日におけるA—A'ラインと B—B'ライン上の気温経時変化を示す．海風発生日のA—A'ラインでは，海風侵入前の1030 ~ 1130JSTにおいて海岸線から10km地点までは，ほぼ様な気温分布図となっており，10km地点を過ぎると気温が低下している．海風侵入前の1030 ~ 1130JST，海風侵入後の1130 ~ 1230JSTにおいて，沿岸域では気温の上昇は見られない．内陸域では気温は一樣に上昇しているが，海岸線から2km地点までの気温上昇が海風により抑えられていることがわかる．その2時間後には13.4km地点までの気温が低下しており，海風の緩和効果が内陸にまで及んでいることがわかる．このとき，内陸域は沿岸域より最大で約3.8 高温となっている．B—B'ラインでは，海風侵入前では5.4km地点から12.4km地点がやや高温になっている．海風侵入後も分布形状を維持しながら全体的に気温は上昇する．この時点ではB—B'ラインに海風は到達していないことがわかる．2時間後になるとB—B'ライン全体の気温が低下しており海風の緩和効果が確認できる．特に，5.3km地点から15.3km地点では海風の緩和効果が大きいことがわかる．海風非発生日のA—A'ラインでは，1030 ~ 1130JSTの形状は海風発生日のA—A'ラインの形状とほとんど変わらない．1130 ~ 1230JSTでは全体の気温が0.5 上昇するが，形状に変化は見られない．1330 ~ 1430JSTでは沿岸域の気温上昇が他の地域に比べ大きくなり，沿岸域と内陸域の差が最大で約1.9 になる．B—B'ラインでは1030 ~ 1130JSTの形状は5.4km地点から16.7km地点までがやや高温になっている．1130 ~ 1230JSTではA—A'ライン同様全体の気温が0.5 上昇するが分布形状に変化は見られない．1330 ~ 1430JSTになるとさらに

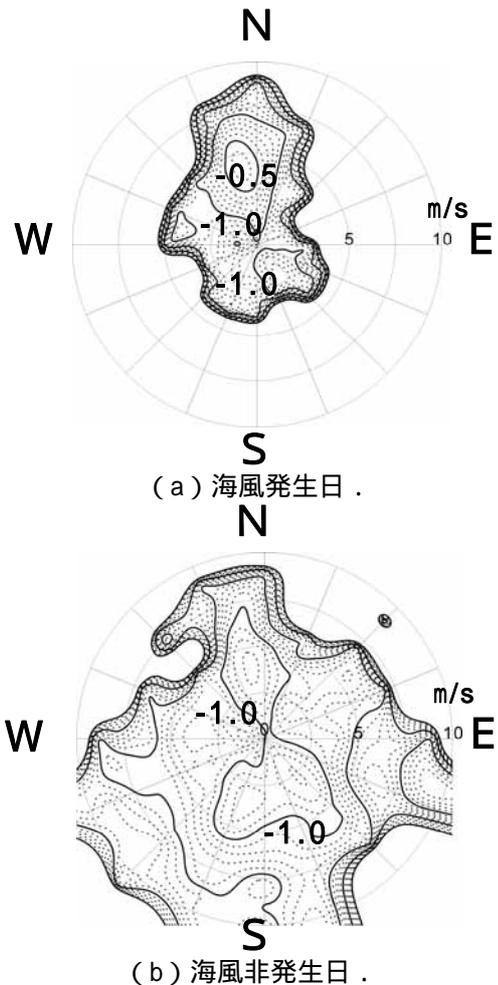
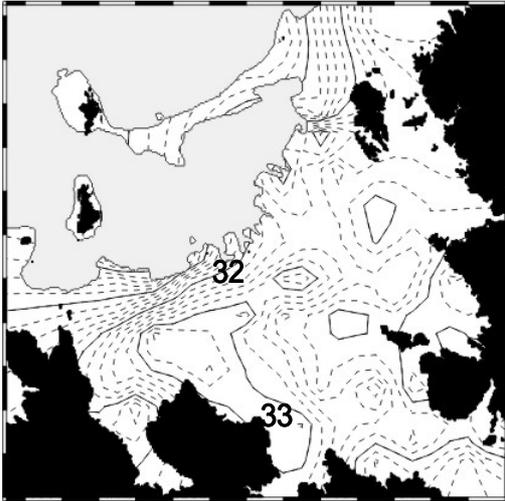


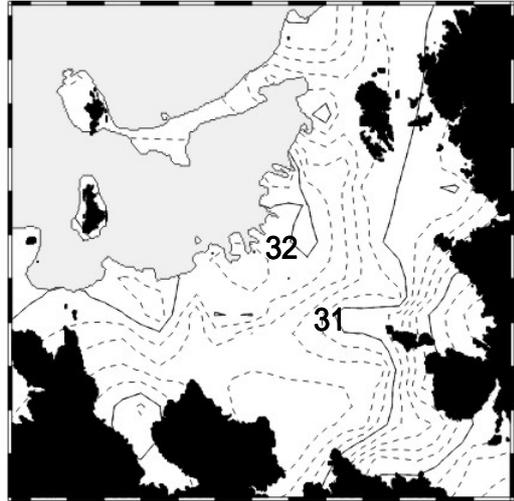
図-2 風向・風速出現確率分布図．

全体的に気温が上昇する．特に12.4km地点を中心に大きく気温が上昇する．

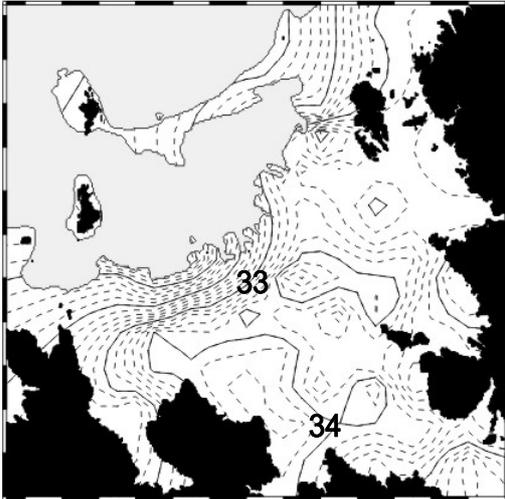
図 - 6(a)，(b)に，全海風発生日における1時間平均気温分布と，全海風非発生日における1時間平均気温分布を示す．海風発生日では福岡管区気象台に海風が侵入した時刻の4時間後から5時間後までのデータを平均した．海風発生日の平均海風発生時刻は910JSTであったため，全海風非発生日の気温分布はその4時間後から5時間後，つまり1310 ~ 1410JSTにわたって平均された．日射量の違いにより海風発生日の方が全体的に2 ほど高くなっている．海風発生日では強い日射により陸地が温められているが，海岸線は海風の影響により気温上昇が緩和され，沿岸域に間隔の狭い等温線が確認できる．内陸域と沿岸域の気温差は最大で約2.4 であった．内陸域において等温線が海岸線に平行に並ばない理由として，侵入する海風の強さが日によって大きく変動することが考えられる．海風非発生日にも，海岸線に平行に伸びる等温線が確認できるが，等温線の間隔は海風発生日に比べ広い．内陸域と海岸付近の気温差は最大で約0.9 であった．



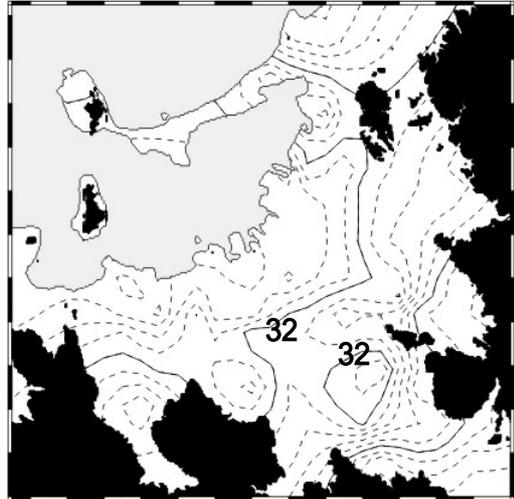
(a) 海風侵入前1時間
(1030~1130JST)の平均.



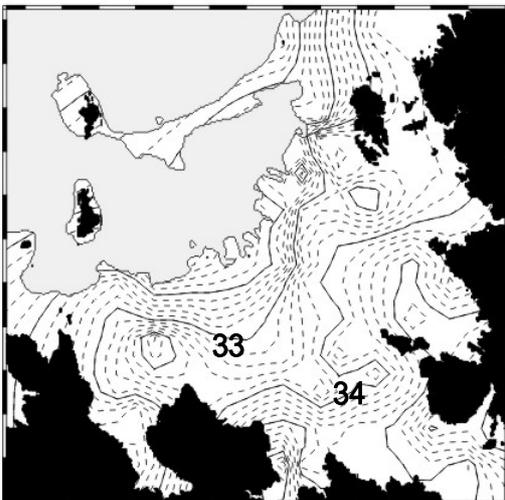
(a) 1030~1130JSTの平均.



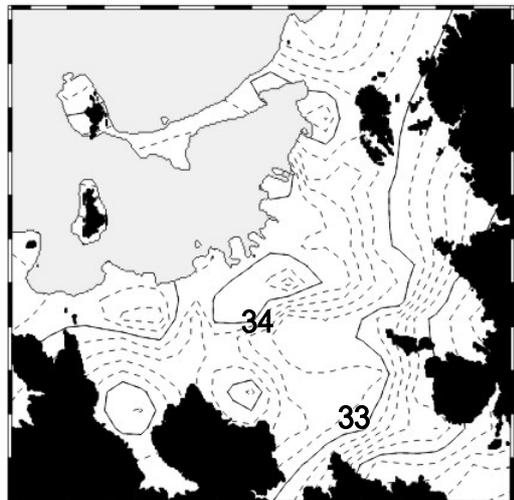
(b) 海風侵入後1時間
(1130~1230JST)の平均.



(b) 1130~1230JSTの平均.



(c) 海風侵入2時間後から3時間後まで
(1330~1430JST)の平均.



(c) 1330~1430JSTの平均.

図-3 海風発生日の気温空間分布.

図-4 海風非発生日の気温空間分布.

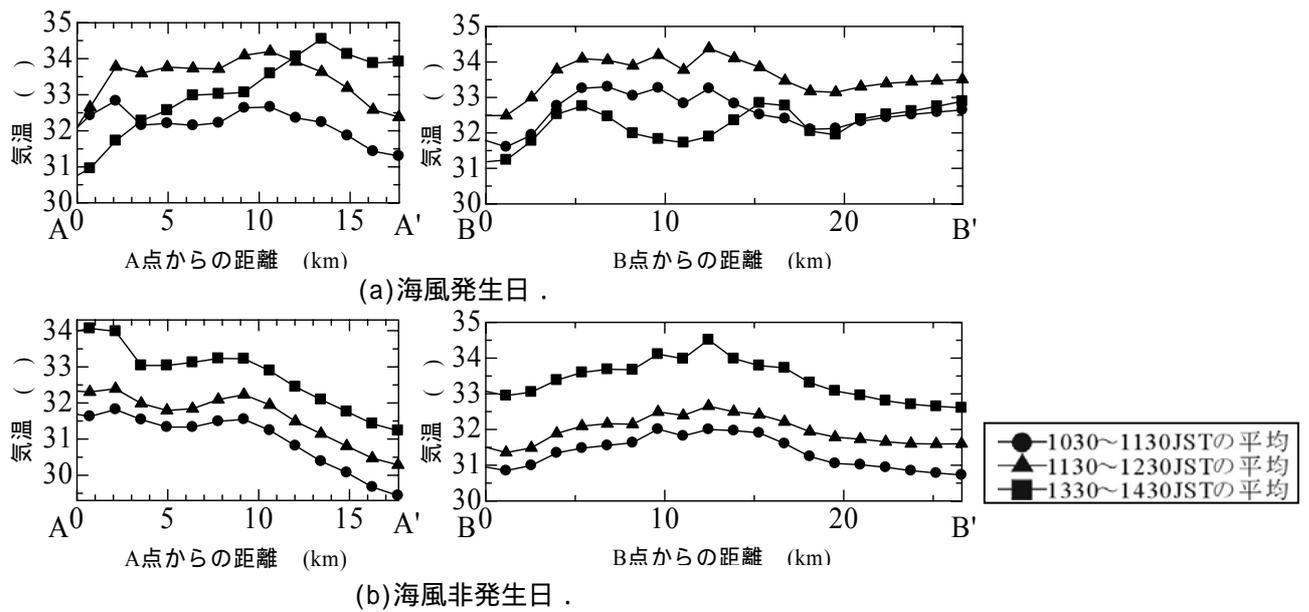


図-5 A—A ラインおよびB—B ライン上の気温経時変化 .

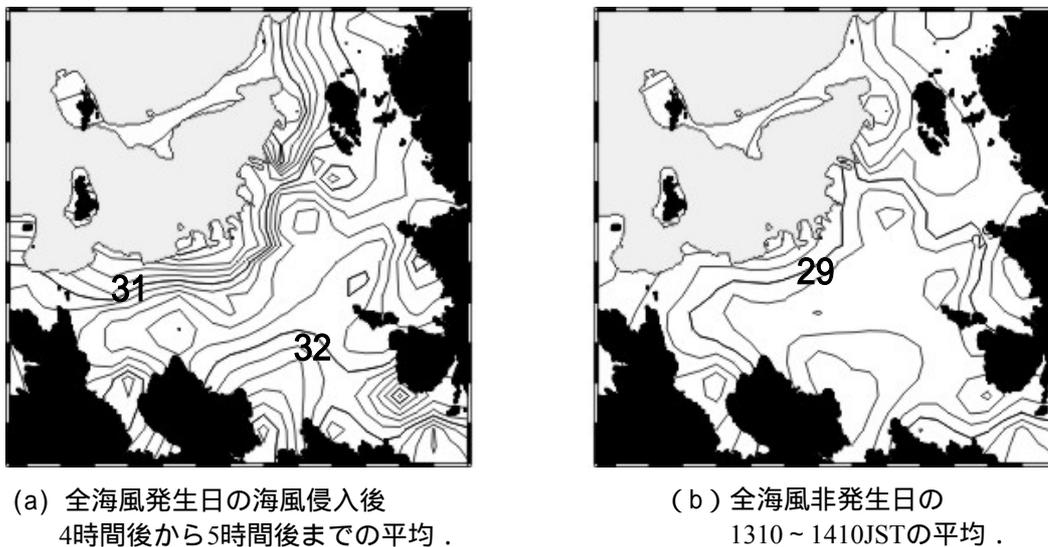
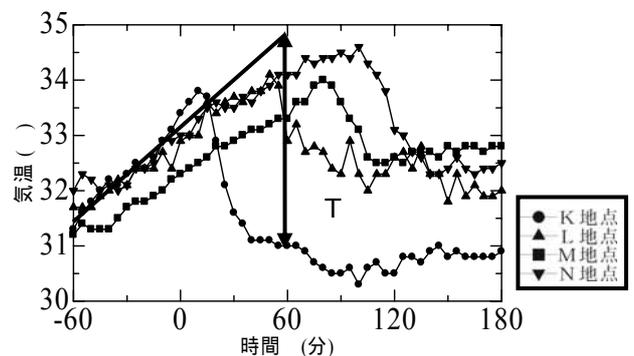


図-6 全海風発生日及び全海風非発生日の気温空間分布 .

4 . 海風による緩和効果の内陸域への侵入

内陸域への海風による緩和効果の侵入特性を明らかにするため、観測地点K～Nにおける気温変化を調べた。図-7に、海風発生日の一例として、2003年8月2日のK～N地点の海風侵入前後の経時変化を示す。横軸は海風侵入時からの経過時間であり、福岡管区気象台の風向・風速データより海風侵入が確認された時刻を0分としている。図中の Tについては次節でふれる。K地点では海風侵入前の気温は上昇するが、海風侵入直後から下がり始める。30分後に気温低下はいったん緩やかになり、70分を過ぎた頃から再び気温が低下し、100分後に最大で3.5℃気温が低下する。L地点は海風発生から50分後に気温上昇が止まり低下に転ずる。この時間に海風がL地



点に達したと考えられる。M地点、N地点も同様にそれぞれ80分後、100分後に気温が低下し始める。海風が徐々に内陸に侵入し、気温上昇を抑制しており、その効果が一定時間持続していることがわかる。各地点において、海風侵入により気温上昇率が明

瞭に低下した日数を表 - 2に示す．内陸ほど海風による緩和効果が確認された日は少なくなり，海岸から15.4kmに位置するN地点では約35%に低下している．

5．沿岸域における海風の緩和効果

図 - 8に海風侵入時から1時間の積算日射量と海風侵入後1時間の平均風速の関係を示す．積算日射量と平均風速の間には正の相関がある．日射により陸地が温められ上昇気流が発生し，それに伴い生じた気圧差が駆動力となり風速が強められていることがわかる．

図 - 9に海風侵入時から1時間の積算日射量と気温低下度 T との関係を示す． T は図 - 7で示すように，海風侵入前1時間の気温勾配からそのまま気温が上昇した場合の60分後の気温を推定し，実際の気温との差として定義している． T と日射量の間には正の相関があることがわかる．図 - 8の結果を考慮すると，風速が大きくなると気温低下度も大きくなることがわかる．一部 T が負の値を示している．これは海風の緩和効果が，日射や人工排熱による気温上昇率よりも小さかったためである．

6．おわりに

福岡都市圏において海風がヒートアイランド現象に及ぼす影響について検討した．海風発生日と海風非発生日では沿岸域の気温分布に大きな違いが見られた．海風発生日では沿岸域に高密度な等温線が確認でき，時間の経過とともに海風による緩和効果が内陸域に侵入することが確認された．海風による緩和効果は数時間持続することが明らかとなった．また，海風侵入後1時間の積算日射量と気温低下度の間には，正の相関が確認された．海風非発生日では沿岸域の気温が時間とともに大きく上昇し，沿岸域が内陸域より高温となった．

今後は内陸域での海風による緩和効果を定量的に検討する予定である．

謝辞：観測を行うにあたって各小学校の教員の方々や九州大学農学部附属福岡演習林の方々には大変お世話になりました．ご協力いただいた皆様に深く感謝申し上げます．九州大学総合理工学府環境流体科学研究室の方々にはデータ回収を手伝っていただきました．本研究は，住友財団ならびに公益信託エスベック地球環境 研究・技術基金の援助の下で行われたことを記し，感謝の意を表します．

表 - 2 K～N地点の海風到達日数

	K	L	M	N
海風侵入日数	62	47	29	22
海風侵入確率(%)	100	76	47	35

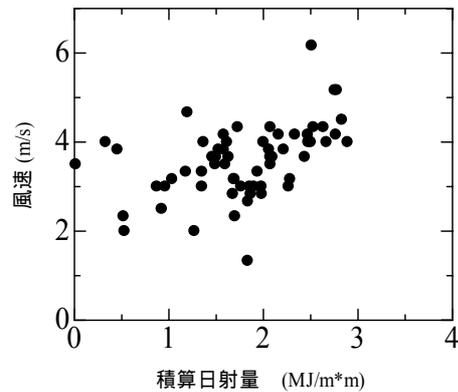


図-8 日射量と海風の平均風速の関係．

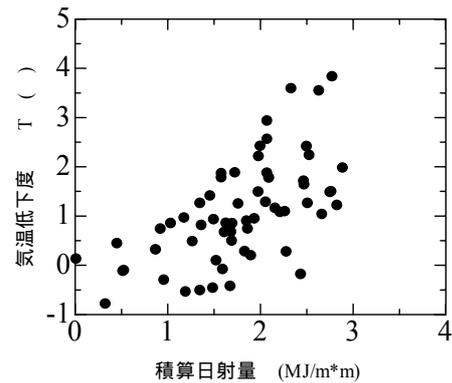


図-9 日射量と気温低下度 T の関係．

参考文献

- 1) 十二村佳樹，渡辺浩文，鈴木博司：海風による都市熱環境緩和に関する基礎的研究，日本風工学会誌，No.95，pp.69-70，2003.
- 2) 岩谷賢，持田灯，吉野博，佐々木澄，渡辺浩文：海風が年の温熱環境に及ぼす影響に関する研究，日本風工学会誌，No.95，pp.70-71，2003.
- 3) 石井義裕，玉井昌宏，村岡浩爾：大阪平野におけるヒートアイランドと海陸風の相互作用，ながれ，No.19，pp.139-142，2000.
- 4) 福田和代，松永信博，酒井聡一郎：福岡市における海風侵入の挙動，水工学論文集，No.44，pp.85-90，2001.

(2005.9.30受付)