

福岡都市圏の熱環境に及ぼす局地風の影響に関する研究

久田由紀子 九州大学大学院総合理工学研究院

1. はじめに

現在、日本各地の大都市でヒートアイランド現象と呼ばれる都市圏の高温化が社会問題となっている。この影響で大気汚染、エネルギー消費の増大、集中豪雨、熱中症の増加など多くの問題が引き起こされている。都市の高温化は、人工排熱の増加、緑地や水面の減少、建築物や地表面を覆うアスファルト、コンクリートの増加といった、様々な要素が絡み合って生じている。現代社会においては、これらの要素を取り除くことは困難であり、むしろ都市化によって増加する傾向にある。このため、今後もヒートアイランド現象によって生じる問題が、より深刻なものとなることが危惧されており、早急にその対策を見出すことが求められている。

著者らは、福岡都市圏における気温の空間分布を明らかにするため、2003 年夏季から長期にわたって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。これまでに福岡都市圏における夏季と冬季のヒートアイランド構造を明らかにしている⁽¹⁾⁽²⁾。その結果、夏季、冬季とも日中には都市圏全域に高温域が一樣に広がることなどを見出した。この様な状況において、福岡の都市高温化の対策として著者らが注目したのは、海風による緩和効果である。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知られており⁽³⁾、その緩和効果は、福岡都市圏における高温化対策を議論するうえで重要な要素であると考えられる。

海風の影響に関する研究は各地で行われており、十二村ら⁽⁴⁾は仙台市域において海風による気温上昇抑制効果の評価を行っている。岩谷ら⁽⁵⁾は福島県原町市で、山から風が吹く日と海風が吹く日の比較による海風発生日の気温低下の検討している。石井ら⁽⁶⁾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。しかしながら、福岡都市圏における海風の影響を定性的、定量的に評価するには至っていない。さらに、海風の特徴はその地域特有のものであるため、福岡都市圏への影響を評価するためには、独自の調査・研究が必要である。現状ではその様な活動が十分に行われているとは言えず、海風が福岡都市圏に与える影響を評価するために必要な情報は不足している。

本報告では 2003 年および 2004 年夏季に得られた福岡都市圏の気温と海風のデータをもとに、海風侵入と気温低下の関係について検討した。

2. 使用したデータ

2-1 気温データ

気温の観測地点として、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。観測前に、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、風通し等を確認し、観測誤差が小さくなるよう留意した。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外にかけて一樣に分布している。Fig. 1 の丸印は温度計設置地点を示している。使用測器は、SK-L200 (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°C 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。データを 5 分間隔で取得することにより、海風による気温低下を即時捉えることが可能である。これらの設置点の標高差は 40m 以内であり、標高差による気温差は 0.24°C 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°C 程度の気温差については議論できないことに注意する。本論文では、日平均気温が 25°C 以上となった日が 4 日以上連続する最初の日から、25°C 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。その結果解析期間は、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。

2-2 風向・風速データ

データとして、福岡高速道路気象観測所 (MOFUE) の 6ヶ所と大宰府 AMeDAS (DA) で観測されたデータを使

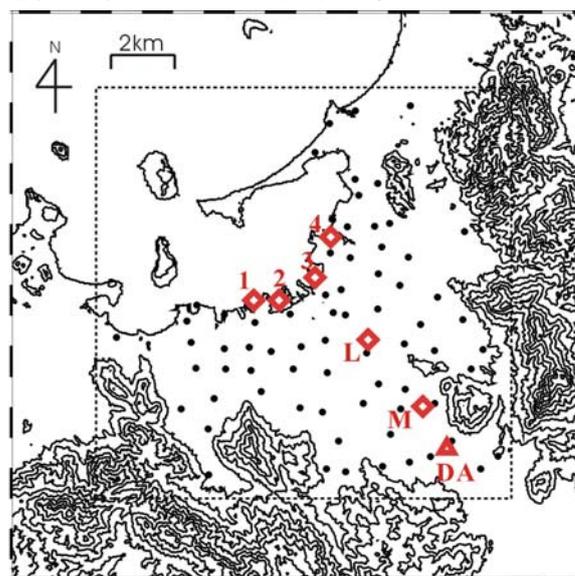


Fig. 1 Topography of Fukuoka metropolitan area and the measurement sites.
 ● : sites of thermometers and thermo-hygrometers,
 ◇ : meteorological observatories of Fukuoka Urban Expressway,
 △ : AMeDAS in Dazaifu

用した。Fig.1 の◇は MOFUE(地点 1~4 及び地点 L, M) を示し、△は DA を示している。1~4 地点は沿岸に沿って並び、地点 L, M, 及び DA 地点はほぼ海風の侵入方向に並ぶ。得られた風向・風速データは、DA では 10 分値、MOFUE では 1 分値である。

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は、

各月の最も早い日の出時間を基準とし、その時刻から 1900JST までの内に 3 時間以上連続で WNW~NNE 方向の風が吹いていること。

0200JST~0500JST に WNW~NNE 方向の風が占める割合が 1/3 以下であること。

0500JST~1200JST の降水量が 1 時間あたり 2mm 以下かつ積算値が 4mm 以下であること。

0600JST~1300JST の全天日射量の積算値が $9\text{MJ}/\text{m}^2$ 以上であること。

以上の 4 つの条件である。データは福岡管区気象台において取得された特別値及び 10 分値データを用いる。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。解析期間 151 日中に海風発生日は 62 日存在した。本報告では福岡都市圏における海風発生状況と気温変化との関係を検討した。

3. 結果と考察

3-1 沿岸域における海風の緩和効果

海風の侵入状況とその緩和効果を明らかにするため、沿岸域の観測点における風向・風速変化と気温変化を観測し、その関係を調べた。

Fig.2 は、海風発生日の一例とし、2003 年 8 月 2 日の観測点 1~4 の 0900JST~1800JST における風向、風速、気温の経時変化を示したものである。各地点の図中、上のグラフは風ベクトルを 1 分間隔で表したもので、上向きを南寄りの風としている。下のグラフは気温の経時変化を表し、各観測点から最も近くにある小学校で観測したデータである。両グラフとも横軸を時刻(JST)としている。福岡平野における海風の主な風向は北から北西寄りであり、陸風の主な風向は南から南東寄りであるので、風向が南寄りから北寄りに明確に変化した時刻が海風侵入時刻と考えられる。

地点 1 では風ベクトルが南寄りから北寄りに変化する 0950JST に海風が侵入を開始したと見られる。海風侵入前までに気温は 30°C まで上昇しているが、海風侵入と同時に気温上昇は抑えられ、侵入後 60 分間では気温は 0.2°C 程度の幅で変化している。その後風向に乱れが生じ気温が上昇し始めるが、風向が北西寄りへと安定する 1115JST から再び気温は低下する。

地点 2 では風ベクトルが南寄りから北寄りに変化する 1140JST に海風が侵入を開始したと見られる。海風の侵入する 1140JST までは、ほぼ一定の勾配 $1.5^{\circ}\text{C}/\text{hr}$ で気温が上昇している。海風侵入後、30 分間で 2.9°C と急速に気温が低下し、勾配が緩やかになる。気温低下の最大値は 3.5°C である。その後は大きな気温上昇はなく、気温はほぼ 31°C

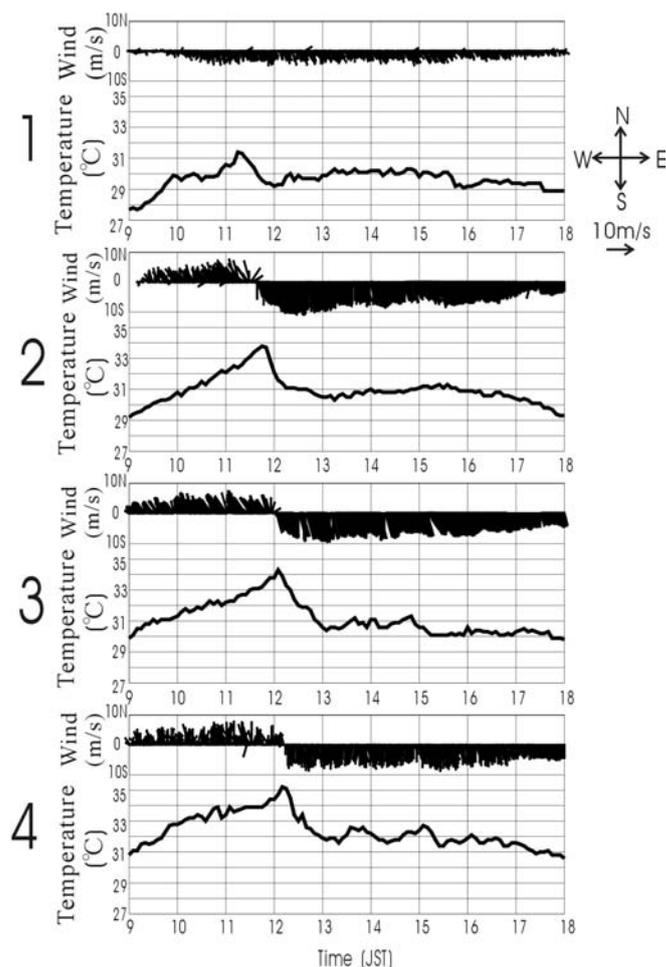


Fig. 2 Time variations of wind and temperature at 1, 2, 3 and 4 on 2nd August 2003 を保っている。1600JST 以降は時間とともに気温は低下していつている。

地点 3 では風向ベクトルの変化から海風侵入時刻は 1200JST であると見られる。海風の侵入する 1200JST までは気温は上昇し続けているが、海風侵入後には気温が低下し始める。約 60 分間気温は低下し続け、気温低下の最大値は 3.9°C である。その後も気温上昇は抑えられており、気温変化の幅は小さい。1520JST 以降は 30°C 程度を維持している。

地点 4 では風向ベクトルの変化から、海風侵入時刻は 1215JST であると見られる。海風の侵入する 1215JST までは気温は上昇を続け

ているが、海風侵入後は気温が低下し始める。地点 3 と同様に約 60 分後に気温低下は落ち着き、気温低下の最大値は 3.2°C である。その後、大きな気温上昇は見られない

沿岸域においては、海風侵入から約 60 分間以内で気温が $2\sim 4^{\circ}\text{C}$ 低下する。その後も、海風が侵入している間は気温の上昇は抑えられていることがわかる。さらに、海風の風速や風向の変化に伴い気温も変動する。観測点の位置と海風侵入時刻の関係を比較すると、最も西にある地点 1 で最も早く海風が観測され、東に移っていくほど観測される時刻が遅くなっている。これは海風発生日に多く観測された現象であり、福岡都市圏への海風は西部から先に侵入していることが確認された。海風侵入時刻の各観測点間の差に着目すると、今回例に挙げた 8 月 2

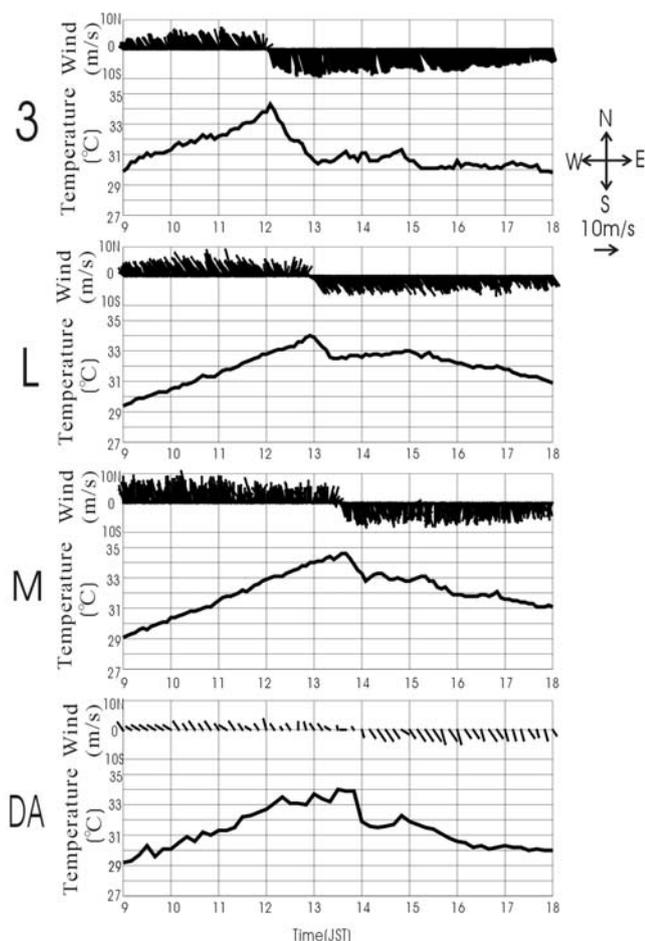


Fig. 3 Time variations of wind and temperature at 3, L, M, and DA on 2nd August 2003
 日では、海風が観測されるまでに1-2点間、2-3点間、3-4点間でそれぞれ110分、20分、15分の差がある。データは載せていないが、例えば2003年8月4日ではその差は20分、5分、10分となっている。この様に、日による各地点の海風侵入時間差は大きく異なる。この理由としては、次のことが考えられる。周囲の地形及び構造物と、海風の侵入方向の関係より、海風の到達時間に差が生じる。また、別の原因としては、福岡都市圏西部において熱源があるため、その近辺で海風が早く誘引されている可能性も考えられる。これらは、今後の研究課題である。

3-2 内陸域への海風侵入による気温変化

福岡高速道路上の地点 3, L, M, 及び大宰府 AMeDAS(DA)で得られた風向・風速データを用いて、海風の内陸域への影響を調べる。これらの地点はほぼ海風侵入方向に並んでおり、海岸線からの距離はそれぞれ 0km, 9km, 19km, 23km である。

Fig.3 は 2003 年 8 月 2 日の地点 3, L, M, 及び DA の 0900JST~1800JST における風向、風速、気温の経時変化を示したものである。各地点の図中、上のグラフは風ベクトルを地点 3, L, M のものは 1 分間隔、地点 DA のものは 10 分間隔で表したもので、上向きを南寄りの風としている。下のグラフは気温の経時変化を表し、地点 3, L, M における気温のデータは、各観測点から最も近くにある小学校で観測したものであり、DA 点の気温データは

DA 点で観測されたものである。両グラフとも横軸を時刻 (JST) としている。

地点 3 については 3-1 で述べているように気温が変化している。

地点 L では風ベクトルが南寄りから北寄りに変化する 1250JST に海風が到達したと見られる。地点 3 で海風が観測されてから 50 分で到達し、これによる気温低下の最大値は 1.5°C である。その後、気温上昇はほとんどなく、1500JST 以降気温は低下している。

地点 M では風向ベクトルの変化から海風到達時刻は 1330JST であると見られる。地点 3 で海風が観測されてから 90 分で到達し、これによる気温低下の最大値は 2.0°C である。その後も次第に気温低下していく。

地点 DA では風向ベクトルの変化から海風到達時刻は 1400JST であると見られる。地点 3 で海風が観測されてから 120 分で到達し、これによる気温低下の最大値は 2.5°C である。海風到達後、最初の 10 分間で急激に低下している。

海風は海岸から 23km の内陸域まで到達し、気温は海風到達と同時に急速に低下し始めることが確認された。しかしながら、すべての海風発生日において緩和効果が内陸 23 km まで到達しているわけではなく、到達確率は約 60% であった。また、到達速度も日によりかなり変動が見られたが、海風の風速には依存していない。この理由は今後の研究課題である。緩和効果は海風の風速に依存する傾向が見られた。

3-3 福岡都市圏の気温分布変化

Fig.4 に 2003 年 8 月 2 日の福岡都市圏における 0930JST, 1030JST, 1130JST, 1230JST, 1330JST, 1430JST 各時刻での気温分布図を示す。実線で示された等温線の間隔は 1°C, 破線で示された等温線の間隔は 0.2°C である。

0930JST の時点ではどの観測点においても海風の侵入は確認されていない。この時点では沿岸域と内陸域の気温差は小さい。都心部では 31°C の等温線が広がり、ほぼ一様の気温分布となっている。

1030JST の時点では地点 1 でのみ海風の侵入が確認されている。西部で海岸線と平行の等温線が確認され、海岸付近と内陸で気温差が生じていることがわかる。1130JST の時点では 1030JST 同様、地点 1 でのみ海風の侵入が確認されている。福岡西部の気温上昇は中央部に比べ抑えられている。内陸域と沿岸域との気温差が大きくなっており、特に都心部での気温の上昇が著しい。

1230JST には地点 1~4 で海風の侵入が確認されている。沿岸域での気温上昇は見られず、1130JST までの分布とは大きく異なり、海岸線と平行で間隔の狭い等温線が都心部まで及んでいる。この時、内陸域と沿岸域との気温差が最も大きくなっている。1330JST には地点 L および地点 M において海風の到達が確認されている。等温線の間隔が広がり、内陸域での気温が低下しているが南東部の気温は高いままである。沿岸域での気温低下はないが、気温の上昇は抑えられている。

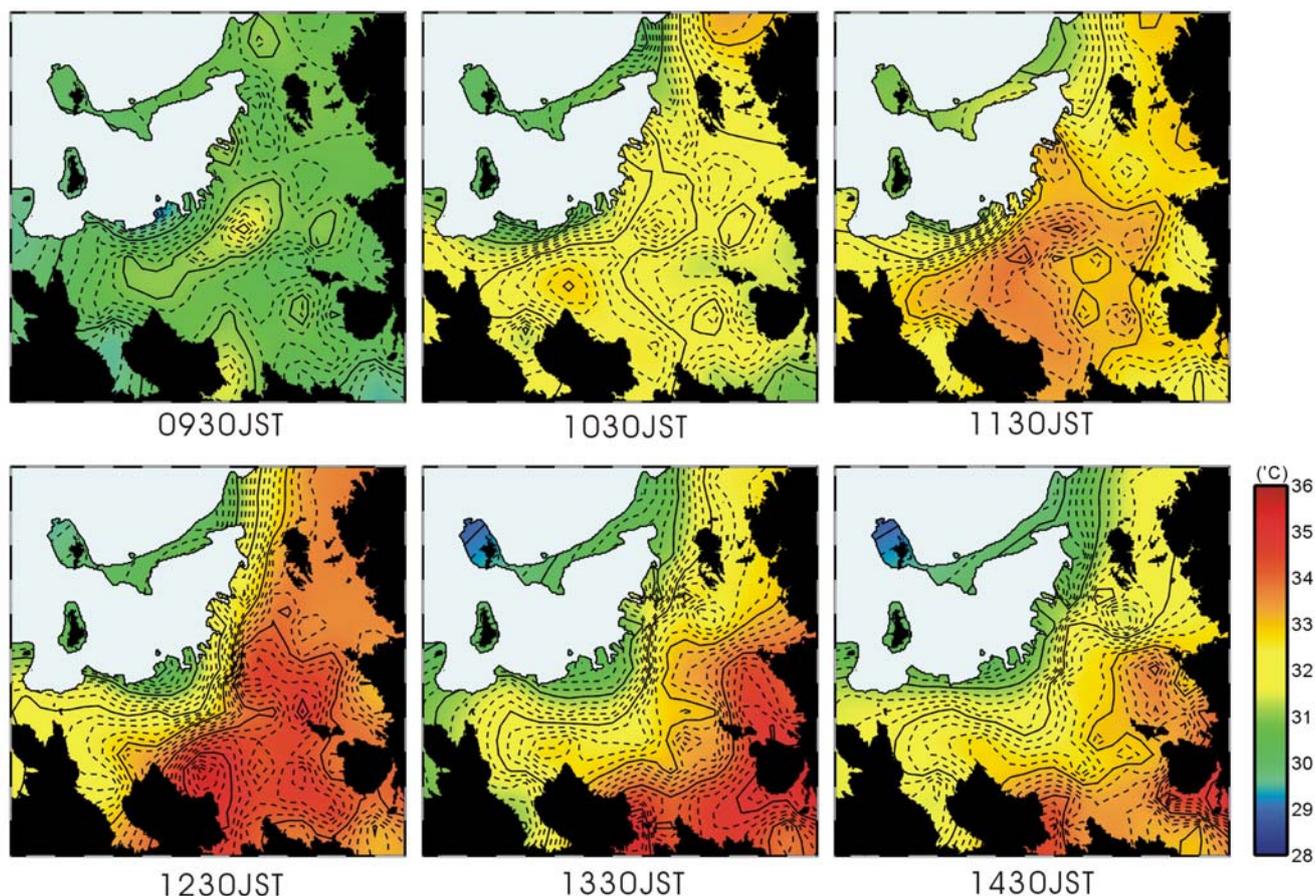


Fig. 4 The time variation of spatial distributions of temperature on 2nd August, 2003.

1430JST には地点 DA まで海風の到達が確認されている。海風の緩和効果は内陸域まで十分に及んでおり、福岡都市圏の気温は沿岸域、南東部の山のみを除き、広い範囲で 31~33℃となっている。

データは省略するが、このような気温分布変化は他の海風発生日でも確認されている。海風による緩和効果は沿岸域で非常に大きく、内陸域でも十分に影響を及ぼしていることが明らかにされた。海風の影響で沿岸域は気温が低く、南東部では気温が高くなっている。沿岸部の低温化は海風によって海上の大気が陸上に輸送され、気温上昇が抑制されるためだと考えられる。南東部については、海風による都心部の熱の移流によって高温化している可能性が考えられる。

4. おわりに

福岡都市圏の小学校 71 校および九州大学農学部附属福岡演習林に設置した温度計または温湿度計を用いて観測した気温データと、福岡高速道路気象観測所と大宰府 AMeDAS で観測された風向、風速データを用いて、福岡都市圏における海風侵入と気温変化の関係について検討した。得られた結果は以下のとおりである。

(1) 沿岸域において、気温低下は海風侵入とともに始まり約 60 分 間以内に 2~4℃低下し、海風が侵入している間は気温の上昇は抑えられている。

- (2) 海風は福岡都市圏の西部から先に侵入する傾向があった。その侵入時刻は日によって違いが見られたが、西部と東部の間で 40 分程度の侵入時刻に違いが生ずることがわかった。
- (3) 海風による緩和効果は内陸域でも効果を発揮することが確認された。福岡平野奥部まで到達する確率は約 60%であった。沿岸域と同様に海風到達と同時に気温低下は始まる。海風緩和効果の強弱は海風の風速に依存する傾向が見られたが、内陸への到達速度は風速に依存していない。
- (4) 海風の侵入によって海岸線に平行な等温線が形成される。これは時間経過とともに内陸域へと広がっていく。

参考文献

- (1) 久田由紀子, 松永信博, 安藤聡, “福岡都市圏における夏季と冬季のヒートアイランド構造の違い,” 環境システム学論文集, vol.33 (2005), pp.171-178.
- (2) 久田由紀子, 杉原裕司, 松永信博, “福岡都市圏における夏季のヒートアイランド構造,” 水工学論文集, 第 48 巻 (2004), pp.181-186.
- (3) 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 (2003), pp.85-90.
- (4) 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 (2003), pp.69-70.
- (5) 岩谷賢, 持田灯, 吉野博, 佐々木澄, 渡辺浩文, “海風が都市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 (2003), pp.70-71.
- (6) 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 (2000), pp.139-142.