

福岡平野内陸部において観測される 風の収束と局地降雨

久田由紀子¹, 松永信博², 池本和生³, 杉原裕司⁴

¹学生員 工修 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 教授 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)

³学生員 工修 九州大学大学院総合理工学府 (現在 応用技術株式会社 解析事業部環境解析部)

⁴正会員 工博 助教授 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)

局地降雨は周辺地域の地形の影響を強く受けるため、地域によって局地降雨の形成過程は多種多様である。九州北部の鳥栖・基山地域は東西に山系が迫り、山系間の狭い平野地帯が南北の筑紫・福岡平野をつなぐ地形となっており、頻繁に局地降雨が発生する。本研究では、この地域の風系と局地降雨の関係について検討し、また数値計算により実際に局地降雨が発生した日を再現させ局地降雨の発生機構について検討する。アメダスデータによると、局地降雨の発生日には福岡平野では玄界灘方向、筑紫平野では有明海方向からの風が卓越することが明らかとなった。さらに、局地降雨の発生時には40%以上の割合で両方向からの風、90%の割合で少なくとも一方からの風が吹く。玄界灘からの風に含まれる水蒸気量が 20g/m^3 を越え、局地降雨の発生可能性が高くなる。再現計算の結果では、玄界灘からと有明海方向からの海風の発生が確認された。内陸では、2つの海風の収束ラインが形成され、ライン上では強い上昇風の形成と比湿の増加が見られた。

Key Word: Local Precipitation, Sea Breeze, Convective cloud, ARPS

1. はじめに

福岡平野と筑紫平野の間に位置する鳥栖・基山地域では局地的な降雨が高い頻度で発生すると言われている。地上風系と局地降水現象との関係を調べた研究としては、千葉・高橋¹⁾が、GMS可視画像から雲の動態と局地風の影響を調べ、雲の動態が局地風の影響を強く受けていることを示している。木村・谷川・吉崎²⁾は、晴天静穏時の大気下層における水蒸気量とそれによる可降水量の日変化を調べ、水平規模の大きな局地循環による水蒸気輸送と可降水量との間に密接な関係があることを明らかにしている。中西・原³⁾は、東京23区において夏の午後に短時間強雨が強くなることに着目し、降水系の降雨強化に結びつく局地風の特徴を調べている。また、中北・鈴木・池淵⁴⁾は、降雨分布の山岳地形依存特性における時間スケール階層構造に着目し、降雨分布の構造解明を試みている。しかしながら、鳥栖・基山地域での局地的な降雨に関しては、これまで研究例がない。福岡都市圏で大量に発生した浮遊粒子状物質(SPM)とその内陸への輸送や、SPMの集中による雨核の形成と局地降雨との関係などを気象学的に明らかにすることは極めて重要である。図-1に示すように、この地域は東西に山系が迫り、山系間の狭い平

野地帯が北の福岡平野と南の筑紫平野をつなぐ地形となっている。点線で囲んだ領域を北から福岡平野、鳥栖・基山地域、筑紫平野とする。3領域の平均雨量から、鳥栖・基山地域においてのみ降雨が生じた場合を局地降雨と定義した。久田ら⁵⁾によって、鳥栖・基山地域での局地降雨の発生割合は、7月～9月の夏季に高い値を示し、特に8月に50%を超える最大値をとることが示されている。また、8月の局地降雨の各時刻毎の発生頻度は午後 to 高くなる。福田ら⁶⁾によって、福岡平野では玄界灘からの海風が高頻度で安定して発生することが明らかにされている。福田らが明らかにした海風侵入時刻と海風の内陸への侵入速度に基づいて推算された海風の到達時刻は、局地降雨の発生時刻とほぼ一致する。このことから、玄界灘から侵入する海風と南の有明海からの海風が鳥栖・基山付近で収束し、上昇風を形成するために、局地降雨が発生しやすい状況を作っていると推測される。

また、これら2つの海風は海域からの海塩粒子や都市域で発生した大気汚染物質を内陸域に輸送するため、局地降雨と雨核との関係も興味深い研究対象である。

本研究では、まず福岡平野および筑紫平野の風系を明らかにする。次に、レーダーアメダス解析雨量

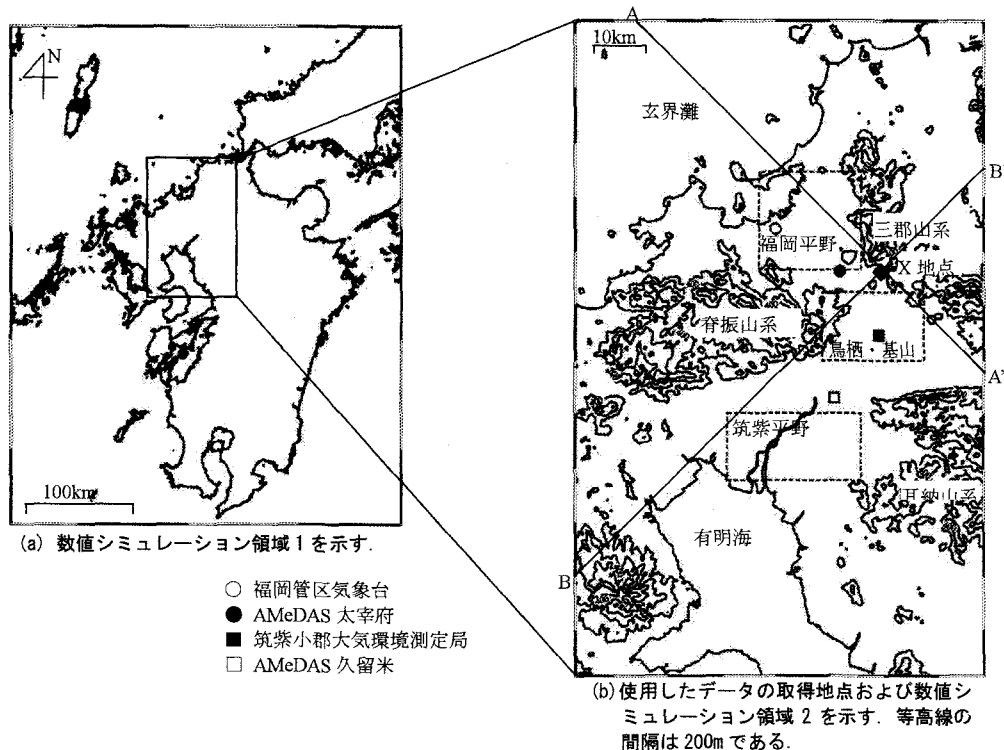


図-1 九州の地形および解析領域

を用いて局地降雨の発生特性と局地降雨を発生させる風系について検討する。最後に、Center for Analysis and Prediction of Storms (CAPS) で開発された Advanced Regional Prediction System (ARPS) を用いて実際に局地降雨が観測された日の再現計算を行い、局地降雨の発生機構について検討する。

2. 局地降雨発生地域の周辺の地形と風系

図-1 に示すように、局地降雨が頻繁に発生すると言われる鳥栖・基山地域は、北に福岡平野、南に筑紫平野が広がり、さらに福岡平野の北には玄界灘、筑紫平野の南には有明海を有する。また、東側には三郡山系、西側には脊振山系が迫る。この 800m 級の山系に挟まれた幅約 5km の狭い地形が南北 2 つの平野を結んでいる。

ここで、福岡平野および筑紫平野の夏季の風系について述べる。図-1 (b) に○、●、■、□で示す 4 つの気象観測地点における風向・風速の特別値から求めた風向・風速出現確率分布を図-2 (a) ~ (d) に示す。データとして、1999~2002 年の 7~9 月において得られた毎正時 10 分平均値を使用している。図の各軸は風向の 16 方位、各軸方向には風速を示す。コ

ンターによって各風向・風速の出現確率を表している。ただし、コンターの値は、出現確率の常用対数を取ったものであり、色が濃い程、出現確率が高いことを意味する。図-2 (a) より、福岡管区気象台では、北および北北西の約 5m/s の風と南東の約 2m/s の風の出現頻度が最も高い。これらの風は、福田ら⁹⁾によって明らかにされた、年間を通して玄界灘から福岡平野に進入する海風や、内陸域から福岡平野に流出する陸風の風向・風速値とほぼ一致する。(b) より、太宰府は北北西および北西の約 3m/s の風と東南東の約 2m/s の風が卓越する。北西の風の風速は、福岡管区気象台における値よりも小さいが、玄界灘方向から来た風が地形の影響を受け風向を若干西寄りに変化させながら侵入しているものと考えられる。(c) より、筑紫小郡では 2~3m/s 程度の南南西から西南西の風が卓越している。(d) より、久留米では約 3m/s の南南西の風と 2m/s 程度の北東の風が卓越している。以上より、福岡管区気象台や太宰府の位置する福岡平野では、北の玄界灘方向からの風が高い頻度で侵入していること、筑紫小郡や久留米の位置する筑紫平野では、有明海上を通過して来る風が卓越することがわかる。これら 2 方向からの風は、鳥栖・基山地域で収束していると推測される。

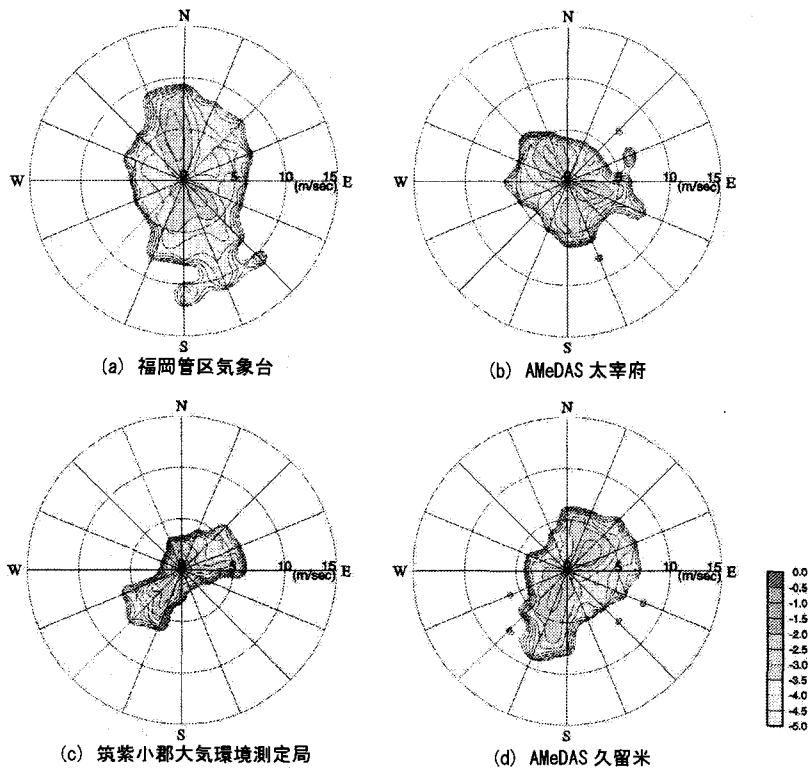


図-2 夏季の風向・風速出現確率分布図。コンターは色の濃い程、頻度が高いことを示し、数字は出現確率の常用対数値を示す。

3. 2方向からの風の収束と局地降雨

局地降雨の発生状況を調べるため、レーダーアメダス解析雨量を用い、福岡平野、鳥栖・基山地域、筑紫平野でのそれぞれの1時間平均雨量を求めた。3領域の平均雨量から、鳥栖・基山地域のみ降雨が生じた場合が局地降雨と定義している。次に、北からの風については、福岡管区气象台において9～18時に連続4時間以上に渡って西北西から北北東の間の風が吹いた場合を、便宜的に「玄界灘からの風」と定義し、南からの風については、久留米 AMeDAS において9～18時に連続2時間以上に渡って南から西の風が吹いた場合を、「有明海からの風」とした。

久田ら⁹⁾によって、鳥栖・基山地域の局地降雨の発生頻度は午後に上がることが示されているため、12時以降に局地降雨が発生した日において玄界灘からの風と有明海からの風の発生状況を検討した。結果を図-3に示す。局地降雨が発生した時には、玄界灘からの風あるいは有明海からの風の少なくとも一方が発生している場合が90%近くに達する。また、2つの風が同時に発生している割合は40.8%となり、

どちらか一方のみが発生している場合よりも高い値を示している。玄界灘または有明海の1方向のみの風でも局地降雨が発生している理由は、各平野が脊振山系、三郡山系、耳納山系に囲まれており、山の斜面に沿って風が強制的に上昇させられるためと考えられる。ここで興味深いのは、局地降雨が発生した場合において、有明海からの風のみが形成されている割合の方が玄界灘からの風のみが形成される割合よりも2倍近く高いことである。このことから、局地降雨発生に対し有明海から侵入する風が大きな影響をもつことが示唆される。

2方向から風が同時に発生する場合において、風速に対する局地降雨の発生頻度および雨量の関係を図-4に示す。局地降雨の発生頻度は、玄界灘からの風では3～4m/s、有明海からの風では2～3m/sのときに最も高い値を示す。一方、雨量は玄界灘からの風で4～5m/s、有明海からの風で2～3m/sのときに最大雨量を示す。風速が比較的大きな値をとる場合に雨量も増す結果となった。また、風速2～3m/s程度の風でも内陸部での局地降雨に重要な因子となっていることがわかる。

玄界灘からの風に含まれる水蒸気量と雨量の関係を図5に示す。水蒸気量は、局地降雨発生日において、風の発生時から4時間の各時刻の水蒸気量を、 $\text{水蒸気量}(\text{g/m}^3) = 0.2167 \times \text{相対湿度 } rh \times \text{飽和比湿 } Q_{\text{SAT}} / \text{気温 } T$ より求め⁷⁾、それを積算した値である。玄界灘からの風の水蒸気量が 20g/m^3 を越えると、局地降雨の発生する可能性が高くなる。風に含まれる水蒸気が内陸へ輸送されることで鳥栖・基山地域の水蒸気の増加をもたらす、局地降雨を発生させる要因となっていると考えられる。

4. ARPS を用いた数値シミュレーションによる局地降雨の再現

(1) 計算概要

計算には、非静水圧大気予報モデル ARPS を用いた。このモデルは数 m から数 100km スケールの現象を対象としている。

計算期間は2000年7月16日21時から7月19日21時までの計3日間で、実際には7月18日16時に時間雨量 0.4mm の局地降雨が発生した。

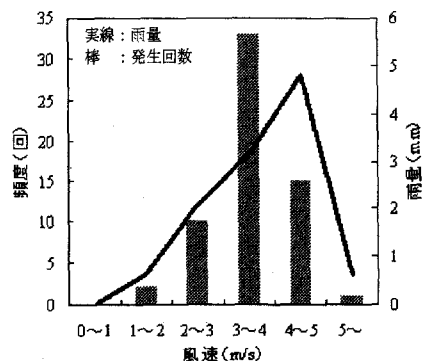
対象領域となる福岡平野から筑紫平野周辺の地域は起伏が大きく、複雑な地形を有しているため、広域の計算格子網に狭域の計算格子網を組み込むワン・ウェイ・ネステイングを用いた。計算領域は図-1(a)を領域1、(b)を領域2とする。表-1に各領域の計算格子を示す。地形データには、国土地理院の数値地図 50m メッシュ(標高)を用い、領域1には 72 秒毎、領域2には 9 秒毎に抽出した値を平滑化して用いている。植生データ及び土壌データには、国土地理院の国土数値情報・土地利用メッシュ $1/10$ 細分区画土地利用を用いた。初期条件および境界条件には気象庁の領域客観解析データ(RANAL)を用いた。時間ステップは、領域1は 2.5 秒、領域2は 2.0 秒である。上端および下端の境界条件は、鏡面型の境界条件を用いた。側面の境界条件は、領域1に関しては、領域客観解析データを時間及び空間的に補間したデータを与えた。領域2に関しては、領域1の計算結果を補間して与えた。雲のパラメタリゼーションには、今回対象としている雲が対流性のものと考え、Kain-Fritsch スキームを用いた⁸⁾。このスキームはメソスケールの計算に対して有用な積雲パラメタリゼーションとされており、大気不安定を評価し対流雲の特性を定めるスキームである。

(2) 計算結果

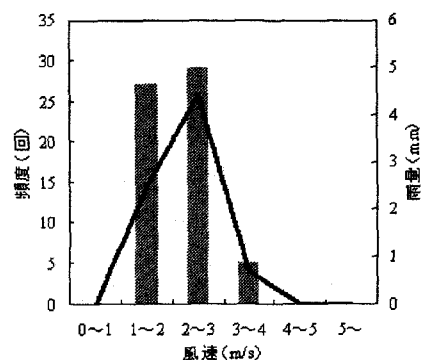
図6(a)～(b)に、7月18日9時の福岡管区気象台

西海域からの風	有明海からの風	玄界灘からの風	その他
40.8%	31.2%	17.4%	10.6%

図-3 局地降雨発生日の海風発生状況



(a) 玄界灘からの風



(b) 有明海からの風

図-4 風速と局地降雨発生頻度および雨量の関係

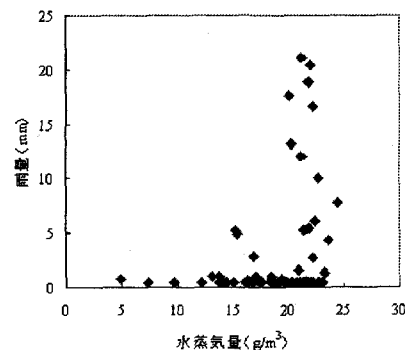


図-5 玄界灘からの風に含まれる水蒸気量と雨量の関係

表-1 各領域における計算格子

	領域1	領域2
計算領域の中心	東経 130.50度 北緯 32.90度	東経 130.38度 北緯 33.38度
水平方向の格子間隔	7.5km × 7.5km	1.0km × 1.0km
水平方向の格子数	48 × 60	75 × 120
鉛直層の間隔	50m - 950m	50m - 950m
鉛直層数	20層	20層

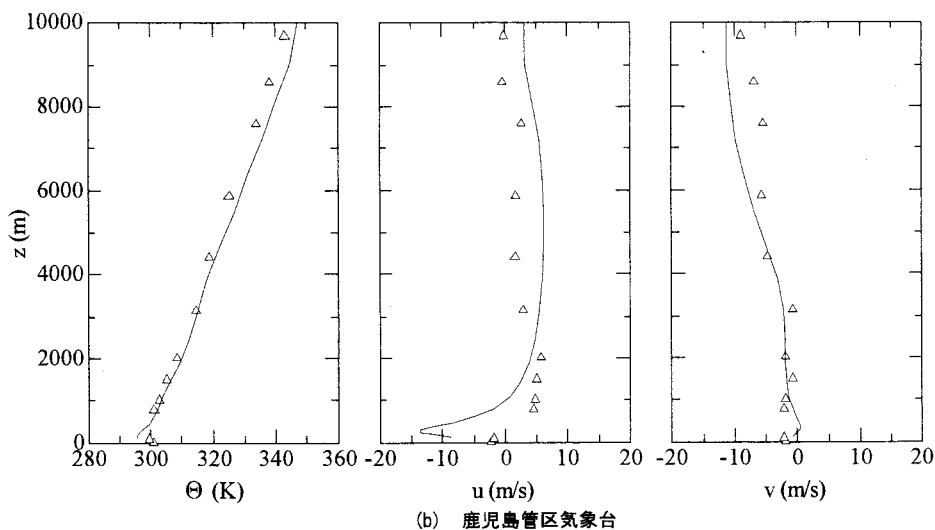
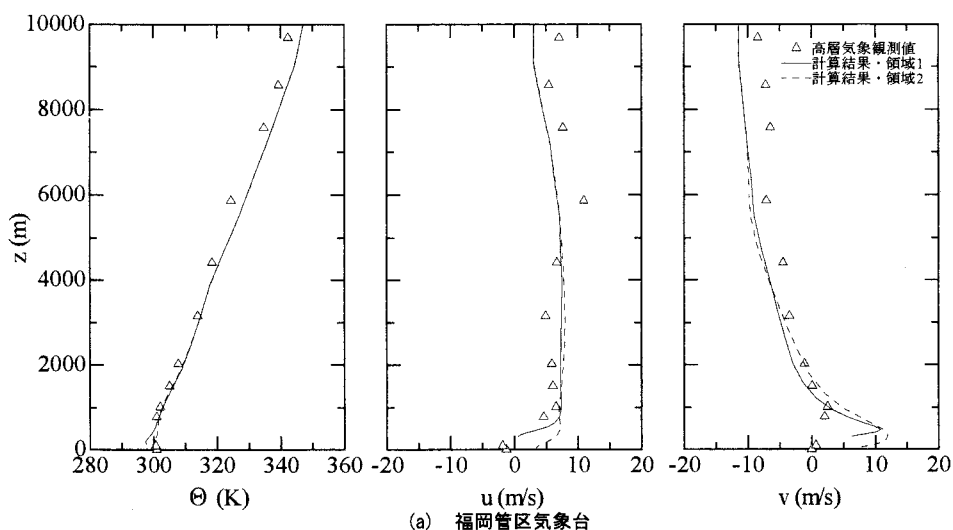


図-6 高層気象観測値と計算結果の比較

および鹿児島地方気象台において得られた高層気象観測値とそれぞれに対応する地点の計算結果の比較を示す。ここで、 Θ は温位、 u は東西風速成分、 v は南北風速成分である。(a)より福岡は、地上 1000m 付近までの風速南北成分について計算値の方が大き

くなるが、それ以外は概ね計算値と観測値は一致する。(b)より鹿児島は、地上 1000m 付近までの風速東西成分の絶対値について計算値の方が大きくなるが、それ以外は概ね計算値と観測値は一致している。

図 7(a)~(f)に、それぞれ 7 月 18 日 9~19 時の

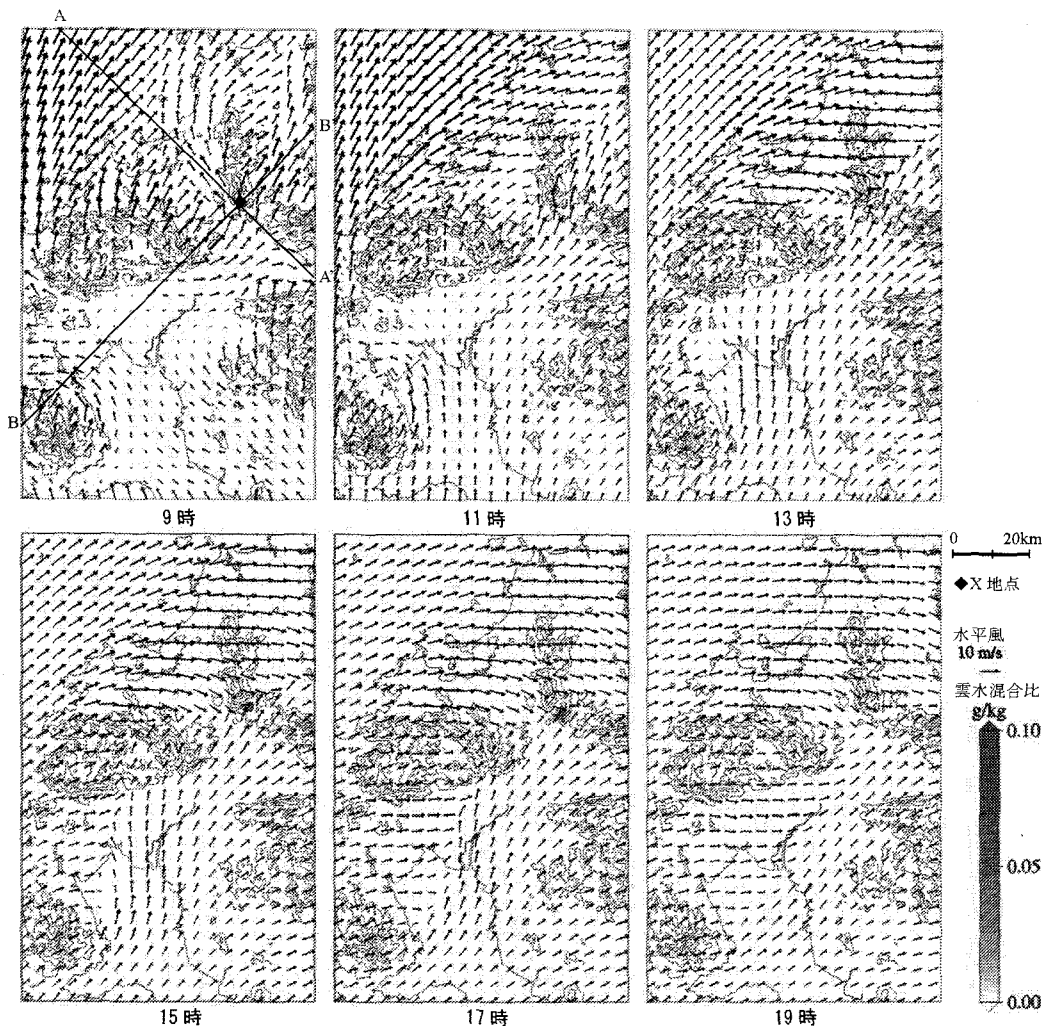
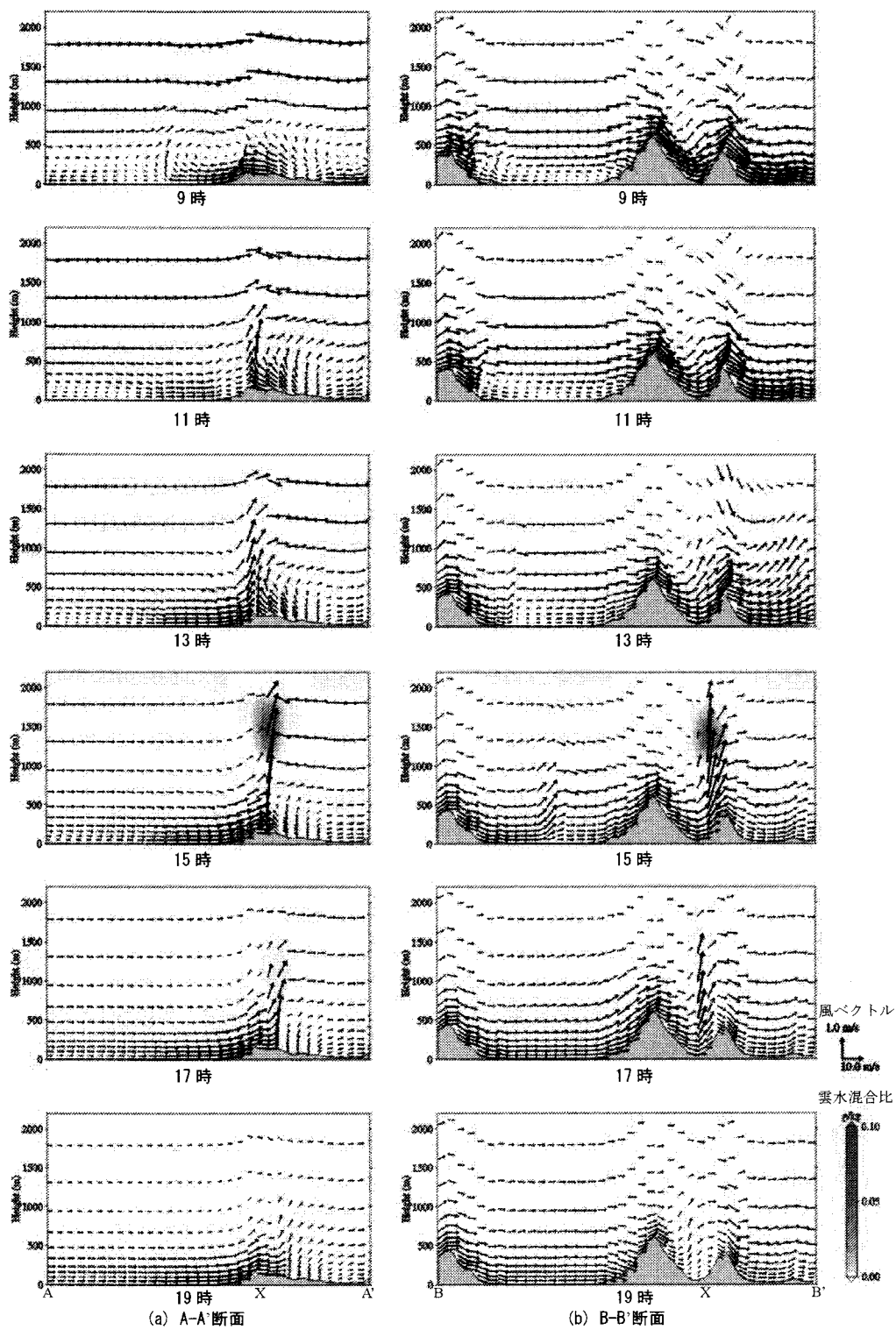


図-7 地上 50m での風速と 1000m での雲水の混合比

2 時間毎の地上 50m における風速と地上 1000m 付近における雲水の混合比を示す。9 時では、基本場が南の風となっており、福岡平野も全体的に南の風であるが、筑紫平野では弱い西寄りの風が生じている。11 時には、有明海上の南の風は筑紫平野に広がり、内陸域では風向が西寄りになっている。福岡平野では西寄りの風が吹いており、玄界灘からの海風はまだ形成されていない。13 時には、福岡平野では西から北西の海風となり、筑紫平野では有明海からの海風が発達する。福岡平野南東部では、北西からの海風と南西からの海風の収束ラインが形成される。15 時に海風の収束ラインは若干南東に移動し、そのライン上には混合比約 0.05g/kg の雲水が発生した。その後も海風の収束ラインはゆっくりと南東へ移動する。雲水も収束ラインとともに移動しながら、微小

ではあるがその領域を広げ、最大約 0.10 g/kg まで発達した。19 時に両方向からの海風は弱まり始め、収束ライン付近の風も弱まり雲もほぼ消失した。

15 時に雲水が発生した北緯 33.524 度、東経 130.585 度を X 地点として、この X 地点を通り北西-南東方向の断面を A-A' 断面、南西-北東方向の断面を B-B' 断面と定義し、これらのラインを含む鉛直断面内の風速ベクトルと雲水の混合比を図 8(a), (b) にそれぞれ示す。A-A' 断面では 9 時には海風の発生は見られない。B-B' 断面では 9 時から 19 時にかけて、断面全域で南西寄りの風となっている。11 時に A-A' 断面では玄界灘からの海風が発生し、X 地点の北部で風の収束が見られた。13 時には玄界灘からの海風は強くなり、風の収束域は少しずつ南に移動する。収束域では地上 1400m まで上昇風が発生している。15



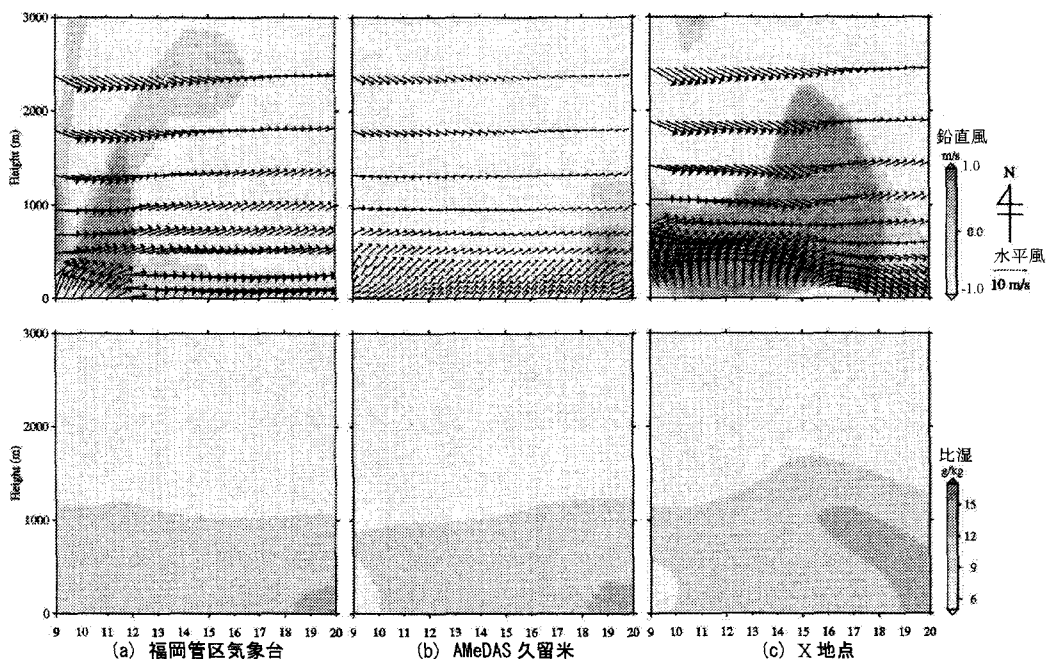


図-9 水平風、鉛直風、比湿の経時変化
上段のベクトルは水平風を、コンターは鉛直風を示し、下段は比湿を示す。

時には A-A'断面では上昇風はさらに発達し、地上 2000m に達する。地上 1000m から 1600m の間では雲水の発生が確認できる。その後も収束域の移動とともに上昇風と雲水は発達し、鉛直風速は 2m/s を超え、雲水混合比は最大約 0.15g/kg、雲頂は約 1800m となる。B-B'断面でも X 地点で上昇風が発達する。17 時には収束域と雲水は移動し、A-A'断面・B-B'断面から離れた。19 時には海風は弱まり、雲水と上昇風は消失した。海風が内陸部に侵入することで風の収束域が生じ、そこで発生する上昇風とともに雲水が発達する一連の流れが確認された。さらに、海風の衰勢、収束域の移動とともに上昇風と雲水が生成・消失したことから、雲水の生成には海風が大きな要素となっており、海風の強さが雲水の成長に大きく関わっていることがわかる。

福岡管区気象台、AMeDAS 久留米、X 地点での水平風・鉛直風・比湿の経時変化を図-9(a)～(c)に示す。(a)より福岡では、12 時前後に水平風の風向が変わり、玄界灘から福岡平野へ侵入する海風へと変化している。海風は地上 400m 程度の厚さを持っており、夜にかけて風速は幾分弱まるものの海風の厚さは維持される。また、海風の侵入とともに地上 1000m 程度の高さまで比湿の増加が見られる。比湿

は海風発生時から夜間にかけて 3g/kg 以上の増加が見られ、最大約 16g/kg となった。海風が吹き続けることで、海風中に含まれる水蒸気が連続して供給されていると推察される。(b)より久留米では、図示された時間帯を通して有明海からの南西風が吹き続けていることがわかる。比湿は福岡と同様、15g/kg 以上となった。AMeDAS 久留米における比湿の上昇は、有明海からの海風と筑紫平野からの蒸発散によるものと考えられる。(c)より X 地点では、9 時から続いていた南の風は 15 時に玄界灘からの海風がこの地点に到達したことにより、北東の風へと変化する。またほぼ同時刻に、地上 1000m 以上に渡って風速 2m/s を超える強い上昇風が発生している。この時刻には雲水が発生しており、対流性の積雲の発達とともに上昇風が強まるため、地上 1000m を越える強い上昇風が生じたと推察される。この上昇風によって比湿も増加し、その影響は地上 2500m 付近にまで及んだ。地上 1000m 付近での比湿は、15～16 時の 1 時間で 1g/kg の急速な増加が確認された。X 地点は、玄界灘からの海風と有明海からの海風が収束することによって両方向から運ばれて来た水蒸気が上昇風により上空へ運ばれたためと考えられる。その後は収束域の南下とともに高比湿域も移動し、この地点

での水蒸気が減少する傾向を示した。

5. おわりに

局地降雨と風系との関係を明らかにするため、まずは局地降雨が頻繁に発生すると言われる鳥栖・基山地域を挟む福岡平野および筑紫平野の風系の解析を行った。福岡平野では北から北北西の風が卓越し、筑紫平野では南東の風が卓越する。これら2方向からの風が収束するとき、局地降雨が発生しやすい状況になっていると考えられる。そこでさらに、局地降雨が発生した時の風系について解析を行った結果、局地降雨が発生している時には、ほぼ90%の割合で、玄界灘または有明海方向からの風が吹いていることがわかった。また、40%以上の割合で2方向からの風が同時に吹いていることがわかった。玄界灘からの風に含まれる水蒸気量は 20g/m^3 を越えると局地降雨の発生する可能性が高くなる。

実際に局地降雨が観測された日を対象として ARPS を用いた数値シミュレーションによる再現計算を行った。玄海灘からの海風と有明海からの海風の発生が確認された。それらが内陸部で収束することにより、風の収束ラインが形成された。ライン上では強い上昇風の形成と比湿の増加が見られた。上昇風は地上2000m近くまで発達した。これは、積雲の発達とともに上昇風が強まるためと考えられる。比湿の増加は、地上2500m付近にまで及んだ。また、比湿は地上1000m付近で約1時間の間に急速な増加が確認された。これは、玄界灘からの海風と有明海からの海風が収束することによって両方向から運ばれて来た水蒸気が上昇風により上空へ運ばれたためと考えられる。

今回、検討した鳥栖・基山地域は脊振山系と三郡

山系の間にあり、地形の効果は極めて重要であると思われる。今後、これら山系の影響としての熱的效果や力学的効果について検討していく予定である。

謝辞：九州大学大学院総合理工学府環境流体科学研究室の大賀隆史君にはデータ解析で御協力頂きました。ここに感謝の意を表します。本研究は、住友財団による研究助成の援助のもとで行われたことを付記します。

参考文献

- 1) 千葉修, 高橋信年: 四国上空の雲の動態と局地風の関係, 天気, 第50巻6号, pp. 447-455, 2003年6月.
- 2) 木村富士男, 谷川亮一, 吉崎正憲: 関東北部の山岳地における晴天日の可降水量の日変化, 天気, 第44巻第11号, pp. 799-807, 1997年11月.
- 3) 中西幹郎, 原由紀男: 東京都市部に短時間強雨をもたらした降水系の降雨強化に結びつく局地風の特徴, 天気, 第50巻第2号, pp. 91-103, 2003年2月.
- 4) 中北英一, 鈴木善晴, 池淵周一: 降雨分布の地形依存特性における時間スケール階層構造, 水工学論文集, 第44巻, pp. 91-96, 2000年2月.
- 5) 久田由紀子, 池本和生, 弓本桂也, 松永信博: 福岡・筑紫平野間の内陸部における局地降雨と海風収束, 九州大学大学院総合理工学報告, 第25巻第2号, pp. 259-264, 2003年9月.
- 6) 福田和代, 松永信博: 福岡市における海陸風の挙動, 九州大学大学院総合理工学研究科報告, 第20巻第4号, pp. 335-339, 1999年.
- 7) 近藤純正: 地表面に近い大気科学, 東京大学出版会, pp. 3-4, 2000年.
- 8) John S. Kain: The Kain-Fritsch Convective Parameterization, An Update, JOURNAL OF APPLIED METEOROLOGY, 43(1), pp. 170-181, 2004.

WIND CONVERGENCE AND LOCAL PRECIPITATION IN AN INNER AREA OF FUKUOKA PLAINS

Yukiko HISADA, Nobuhiro MATSUNAGA, Kazuo IKEMOTO, Yuji SUGIHARA

The local precipitation, which occurs frequently in an inner area connecting Fukuoka plains and Chikushi plains, has been investigated by using the data of AMeDAS and Rader AMeDAS Precipitation. The relationship between the convergence of sea breezes from Genkai and Ariake seas and the local precipitation has been investigated by using the ARPS model. The analytical results show the evident convergence of the two sea breezes toward the inner area and the generation of the strong upward wind. Also the convective cloud is generated due to the upward wind. These results show that the local precipitation is closely related with the convergence of the sea breezes blowing into the inner area.