

# 気象観測画像の比較による集中豪雨発生時の ウインドシアの検出

伊藤 耕太 長 篤志 三池 秀敏

山口大学大学院理工学研究科 〒755-8611 山口県宇部市常盤台 2-16-1

E-mail: {p005vm, osaa, miike}@yamaguchi-u.ac.jp

**あらまし** 近年、毎年のように集中豪雨が発生し、多大な被害を与えている。集中豪雨が発生している地域では、積乱雲が組織化しメソ対流系となっていることが多い。この場合、短時間で積乱雲が発達するため予測は困難である。本研究では、メソ対流系を組織化する際に積乱雲の発達を示す一つの証拠として大気のウインドシアを検出する可能性を調べた。用いた手法では、エコー強度画像から大気の上層の風向・風速を算出し、アメダスによる下層の風向と比較した。事例として平成21年7月中国・九州北部豪雨を取り上げた。解析の結果、積乱雲が生成している環境下において、ウインドシアが生じていたことを確認できた。気象情報画像を用いてメソ対流系におけるウインドシアを検出できる可能性が示された。

**キーワード** 集中豪雨・メソ対流系・ウインドシア

## Detection of Wind-Shear for Localized Torrential Rain by Comparing Weather Observation Images

Kohta Itoh Atsushi Osa Hidetoshi Miike

Graduate School of Science and Engineering, Yamaguchi University

2-16-1 Tokiwadai, Ube-Shi, Yamaguchi, 755-8611 Japan

E-mail: {p005vm, osaa, miike}@yamaguchi-u.ac.jp

**Abstract** In recent year, localized torrential rains develop every year, they bring an enormous toll. Localized torrential rains often have occurred in meso-scale convective systems organized by thunderclouds. In this case, it's difficult to predict occurring localized torrential rains because that thunderclouds develop in the short time. In this study, we address detection of atmospheric wind-shear, an important evidence of growing thunderclouds in the meso-scale convective system. Wind direction and speed of upper atmosphere were calculated by using echo intensity images, and we compared between wind direction of upper atmosphere and wind direction of lower atmosphere recorded by AMeDAS. "Torrential rain in Tyugoku and Kyushu on July, 2009" was taken up as an example. We could confirm atmospheric wind-shear when thunderclouds making torrential rain arise. The results of this study indicate the possibility that analysis of weather observation images can detect wind-shear in meso-scale convective systems.

**Keyword** Localized Torrential Rain · Meso-Scale Convective System · Wind-Shear

### 1. はじめに

地球温暖化による異常気象が地球規模で観測され、集中豪雨の増加もその一つと考えられている。集中豪雨は時間雨量が 50mm を超えるような降雨が局所的

に発生する災害である。日本国内では梅雨末期に発生することが多く、土砂災害や洪水など二次災害をもたらす危険がある。集中豪雨の予測は、気象予報における重要な課題の一つとなっている。近年の気象観測監

視体制の強化に伴い、高分解能の気象レーダーによって、時々刻々と変化する雲や大気の詳細に把握できるようになってきた。例えば、気象レーダーの情報は地形性降雨予測モデル[1]やゲリラ豪雨をもたらす積乱雲の早期探知[2]、雨域移動ベクトルの解析[3]などに利用されてきた。しかし集中豪雨の予測に関しては、その精度において十分ではない。

集中豪雨は発達した積乱雲によってもたらされる。積乱雲の寿命は一時間程度であり、その一生は表1のように分類することができる。集中豪雨の多くはメソ対流系をつくり、積乱雲が世代交代や移動することによって同じ場所に雨を降らし続ける。積乱雲の水平スケールは10km程度であるが、メソ対流系になると数百km程度の大きさを持っており、衛星画像から確認することが可能である。メソ対流系を組織していると、積乱雲は急激に発達することができる。集中豪雨のリードタイムは短く、気象レーダーの時間分解能である5分前には存在しなかった雨域が強雨をもたらすこともある。

そこで本研究では集中豪雨の予測を目標としてメソ対流系を組織する要因であるウインドシアの検出手法の開発に取り組んだ。ウインドシアは大気中の鉛直方向また水平方向の異なる2点間において、風向・風速が異なっている状態のことである。通常、積乱雲は上層と下層に風速の差は現れない。しかし上層と下層の風速の差が大きくなるとメソ対流系を構成する積乱雲の数が増え、寿命も長くなることが報告され[4]、この差をウインドシアと呼ぶことができる。

メソ対流系は数時間から1日程度の寿命を持つ。その間新しく生成された積乱雲はメソ対流系に流入し、急激に発達することが可能になる。そのことからメソ対流系の組織が確認でき、ウインドシアが検出された場合、1時間以内に風下で強雨が起きると推測できる。ウインドシアは積乱雲の発達を助長しているのである。上層と下層大気の風の状態を高分解能で観測することが可能であれば、ウインドシアの生じた位置から早期

表 1 積乱雲の一生

	特徴	降水
成長期	上昇流による雲頂の上昇 降水粒子（雨粒や氷晶）の成長	無
成熟期	降水粒子の落下運動 下降流の発生（上昇流と共存）	有
衰退期	冷気外出流の発生 上昇流がなくなり収束	有

に降雨域を予測でき、そして、住人の避難や緊急の防備にかかる時間を増やすことが期待できる。

ここでは、平成21年7月中国・九州北部豪雨を事例として取り上げ、該当時間における気象観測画像と気象データを比較することでウインドシアを検出可能であるか検討することを目的とした。

## 2. 使用データ

### 2.1. 運輸多目的衛星ひまわり

衛星画像として WebGMS（東京大学生産技術研究所）により提供されている MTSAT-1R のデータを用いた。赤道上空の高度3万6000kmから全球観測を最大24回/日、北半球観測を20回/日、南半球観測を4回/日行っている。各チャンネルの諸元は表2であり、それぞれ10bitのデータ量を持つ。可視画像は太陽光の反射光、赤外画像は雲や水蒸気から放射される赤外線を見ることができる。今回は赤外1チャンネルの画像から、時間ごとの積乱雲のスケールを測定することに用いた。

表 2 MTSAT-1R における観測チャンネルの諸元

観測チャンネル	波長帯 (μm)	空間分解能 (km)
可視	0.55~0.90	1
赤外 1	10.3~11.3	4
赤外 2	11.5~12.5	4
水蒸気 (赤外 3)	6.5~7.0	4
赤外 4	3.5~4.0	4

### 2.2. 気象レーダー

気象庁によってCバンドレーダーが全国に20台(1台の定量観測範囲は半径120km)設置されている。1kmメッシュ全国合成レーダーエコー強度データ(5分間隔)と2.5kmメッシュ全国合成レーダーエコー頂高度データ(10分間隔)を用いた。エコー強度データは降水強度(mm/h)を表し、地上付近の降水粒子の反射を観測し、降水域から降雨パターンを推定することができる。エコー頂高度データは降水エコーの高さから、雨雲の高度を知ることができ、雨雲の発達過程や移動から気象パターンを推定することが可能である。

### 2.3. アメダス

アメダス(AMeDAS, Automated Meteorological Dats Acquisition System)は日本国内の約1300地点に設置されている地域気象観測システムである。降水量(0.5mm単位)、気温(摂氏0.1度単位)、日照時間(1分単位)、風向(16方位)・風速(0.1m/s単位)を

観測している地点が多い．気象庁のホームページでは10分おきのデータを閲覧することができる．

### 3. ウインドシア検出手法

ウインドシアを検出する手順として，まず大気における上層と下層の風向・風速を求める必要がある．上層と下層の風向・風速に差が見られる場合，ウインドシアであるかどうかを，時間分解能が高いレーダーの画像を用いて解析を行う．ウインドシアがある場合，そこでは新しく積乱雲が生成され，メソ対流系の一部になることを予測することができる．

#### 3.1. 風向・風速の算出

大気における上層の風向・風速を算出するために，気象観測画像からオプティカルフローを求める．オプティカルフローの検出には勾配法（局所最適化法）を用いた[5]．上層の大気の流れは，衛星画像とエコー頂高度画像で検出できるが，衛星画像は時間分解能の低さから勾配法に適さないため，エコー頂高度画像を利用する．

下層の大気の流れはアメダスとエコー強度画像で検出できる．アメダスの場合，観測地点に限られるが，エコー強度画像では，雨雲が存在する領域であれば任意の地点のデータを得ることができる．しかしレーダーからの距離によって観測箇所の地上からの高度が異なっているという欠点がある．また，速度場推定誤差も含まれてしまうため，まずは正確なアメダスの観測点のデータを利用する．

#### 3.2. ウインドシアの検出

降雨をもたらしている発達した積乱雲が，生成されたときの風の状態を解析することによって，ウインドシアの検出に取り組む．積乱雲の寿命や上層の風向・風速から積乱雲の生成時刻と地点を推定する．上層と下層の風向・風速の比較を行い，明らかな差が認められた場合，ウインドシアとして検出することができる．

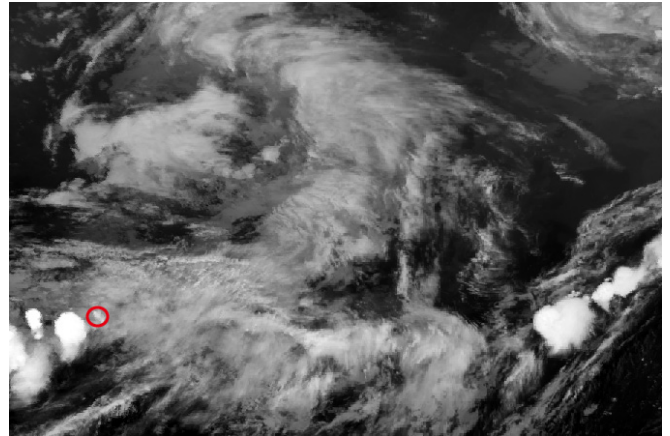
## 4. 平成 21 年 7 月中国・九州北部豪雨

### 4.1. 発生環境

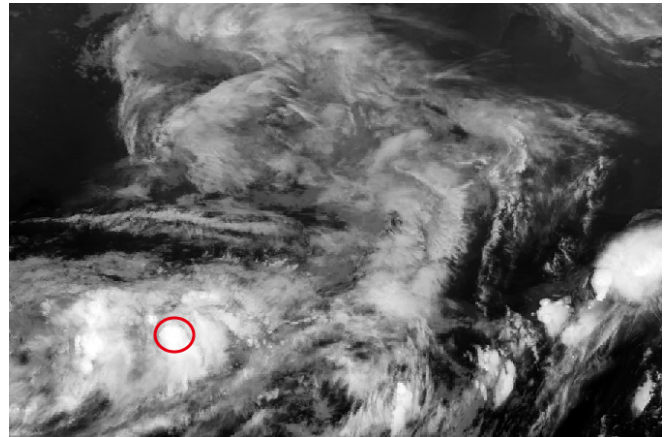
平成 21 年 7 月 19 日から 26 日に中国地方及び九州北部地方で発生した豪雨に，気象庁は「平成 21 年 7 月中国・九州北部豪雨」と命名した．本研究では山口県に激しい雨をもたらした 21 日の 6 時から 12 時 50 分の間の気象観測画像および気象データを中心に解析した．豪雨の発生要因は下層に東シナ海から暖湿な気塊が流入したことで積乱雲が発生しやすい環境となり，梅雨前線の活動が活発化したことによる[6]．

21 日には山口県上空には豪雨をもたらすことにな

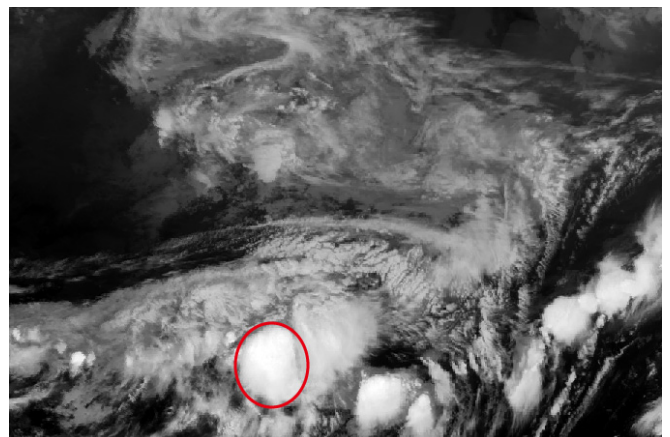
ったメソ対流系が組織化していた．このメソ対流系を組織する前の 20 日 21 時 30 分観測の MTSAT-1R 赤外 1 画像には，発達した積乱雲群が韓国西沖に観測できた（図 1a）．このとき水平スケールは 30km 程度であるが，世代交代を繰り返し移動しながら（図 1b），21 日 7 時 30 分観測の赤外画像では，積乱雲群の水平スケールが 300km になっていた（図 1c）．



a. メソ対流系組織前(20日21時30分)



b. 世代交代を繰り返す(21日2時30分)



c. メソ対流系組織後(21日7時30分)

図 1 「平成 21 年 7 月中国・九州北部豪雨」衛星画像 (MTSAT-1R, 赤外 1)

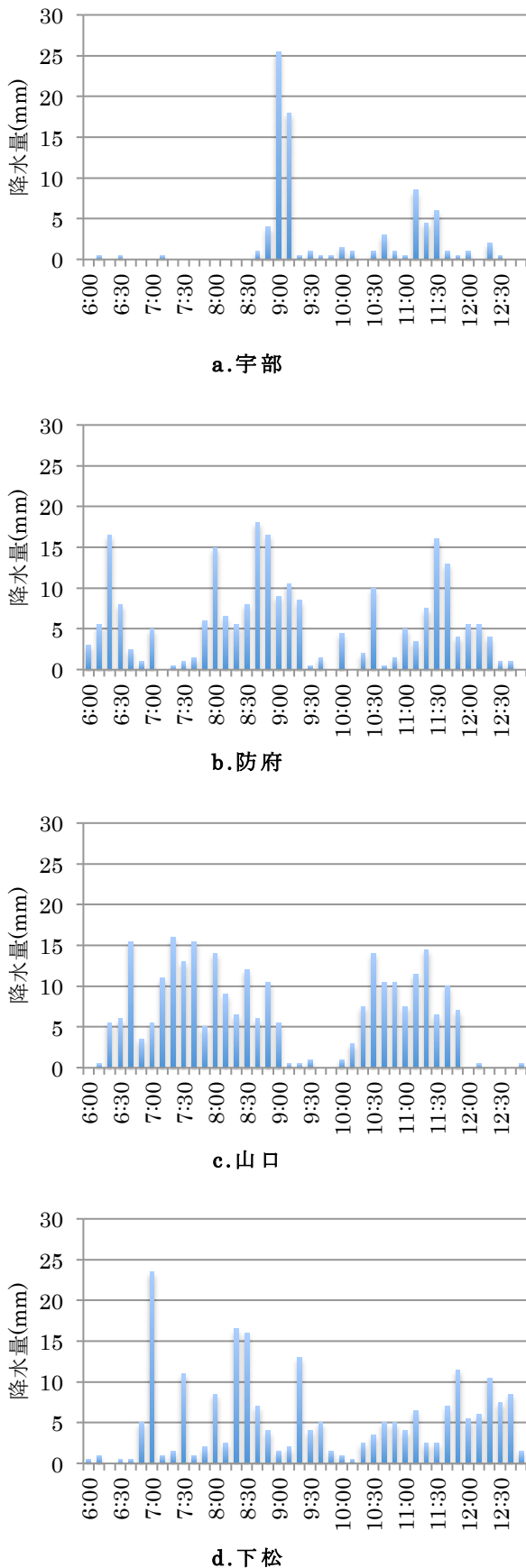


図 2 平成 21 年 7 月 21 日における降水量の推移 (アメダス)



図 3 山口県内のアメダス

#### 4.2.アメダスでの観測

強雨を観測した地点の降水量推移を図 2 に示す. 宇部では 8 時 40 分から 9 時 10 分までの 30 分間で 47.5mm, 防府では 7 時 50 分から 9 時 20 分までの 1 時間 30 分で 97.5mm, 10 時 50 分から 12 時 10 分までの 1 時間 20 分で 60mm, 山口では 6 時 10 分から 9 時まで 2 時間 50 分で 160mm, 10 時から 11 時 50 分までの 1 時間 50 分で 102.5mm, 下松では 6 時 40 分から 9 時 40 分までの 3 時間で 125mm, 10 時 10 分から 12 時 40 分までの 2 時間 30 分で 88mm の降水量を観測していた. また山口県内のアメダス観測地点を図 3 に示す (気象庁ホームページ<<http://jma.go.jp>>より引用).

### 5. ウインドシア検出結果と考察

#### 5.1.積乱雲生成地点の予測

強雨を観測した地点から, 上層の風速を用いて積乱雲が生成した地点を推測した. 強雨をもたす積乱雲は成熟期から衰退期にあると考えられる. ゾンデ (高層気象観測機器) のデータによると, 21 日 9 時, 福岡における上層 (圏界面, 高度 16111m) の風速は 21m/s であることがわかり, 防府でも上層の風速は 20m/s 前後であると予測される. しかしエコー頂高度画像におけるオプティカルフローから算出した上層の風速は 3~5m/s である時間が多かった. このようにエコー頂高度画像において風速が小さく算出された要因として, 風上にあった積乱雲が発達し, 雲頂が高くなっていたことが考えられる.

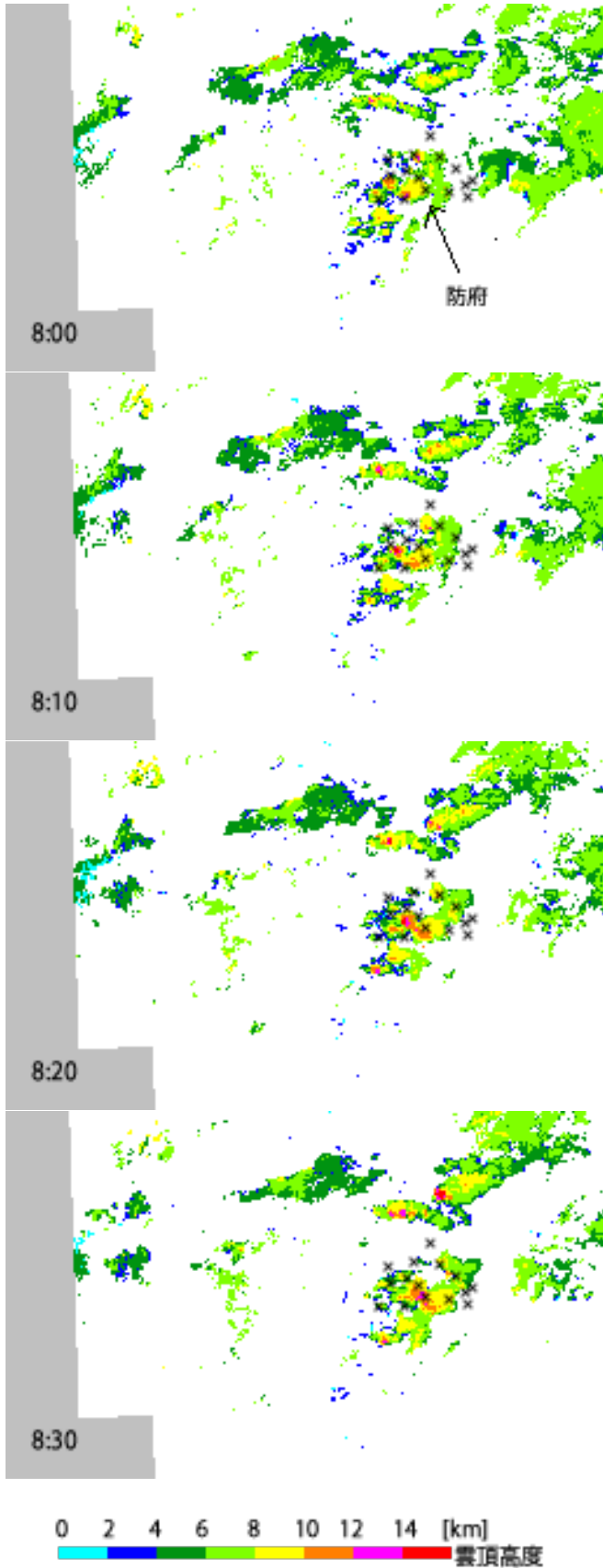


図 4 エコー頂高度画像

×印は図 3 のアメダス観測点に対応する。

エコー頂高度画像を図 4 に示す．10~14km の高度を持つ積乱雲が 8 時 30 分から 40 分にかけて防府を通過していた．この積乱雲のスケールは 10km 程度であり，メソ対流系を組織している一部である．積乱雲生成地点はメソ対流系の風上である西方向にあると予想することができる．エコー頂高度画像において防府市の風上を観察すると，断続的に 4km に満たない積乱雲が生成され続けていることがわかった．

## 5.2. ウインドシアによる積乱雲生成

暖湿な気塊が流入し積乱雲が生成され，下層に吹く 2 つの風がぶつかり上昇流が生じると積乱雲は急激に発達する．このときの下層の風の状態が，上層と異なるためにウインドシアは生じることになる．5.1 節で積乱雲生成地点として予測した防府市の西方面において，アメダスの観測地点が存在する下関，豊田そして宇部における風向の推移を図 5 に示す．上層では西から安定して風が吹いていた．この時間帯，下層大気に南西方向（東シナ海）から暖湿な気塊が流入していた．

下関では 7 時から 8 時 30 分まで，上層と下層の風向が明らかに異なっていた．図 4 を見ると，この時間帯において下関近辺では高度 4km に満たない積乱雲があることがわかった．これは生成成長期にある積乱雲であると考えられ，新しく生成されたものであると推測できる．

豊田と宇部においても上層と下層の風向が異なる時間帯が観測できた．下層の風速が東よりであったのは，メソ対流系の中で衰退していく積乱雲の外出流の影響を連続的に受けたことが考えられる．また図 4 を見ると，下関と同様雲頂の低い積乱雲が多くあることから，積乱雲を生成できる環境があると推測できる．

以上のように，記録的な集中豪雨を観測した防府のメソ対流系の風上である西側の地域においてウインドシアを検出し，その時間帯において積乱雲が生成されている可能性が見られた．今回のデータでは，防府市へ集中豪雨をもたらした積乱雲と，これらの地域で発生した積乱雲との直接的な関連を述べることができない．しかしながら，積乱雲の成長をもたらすウインドシアを，各種気象データから検出ができる可能性が示された．



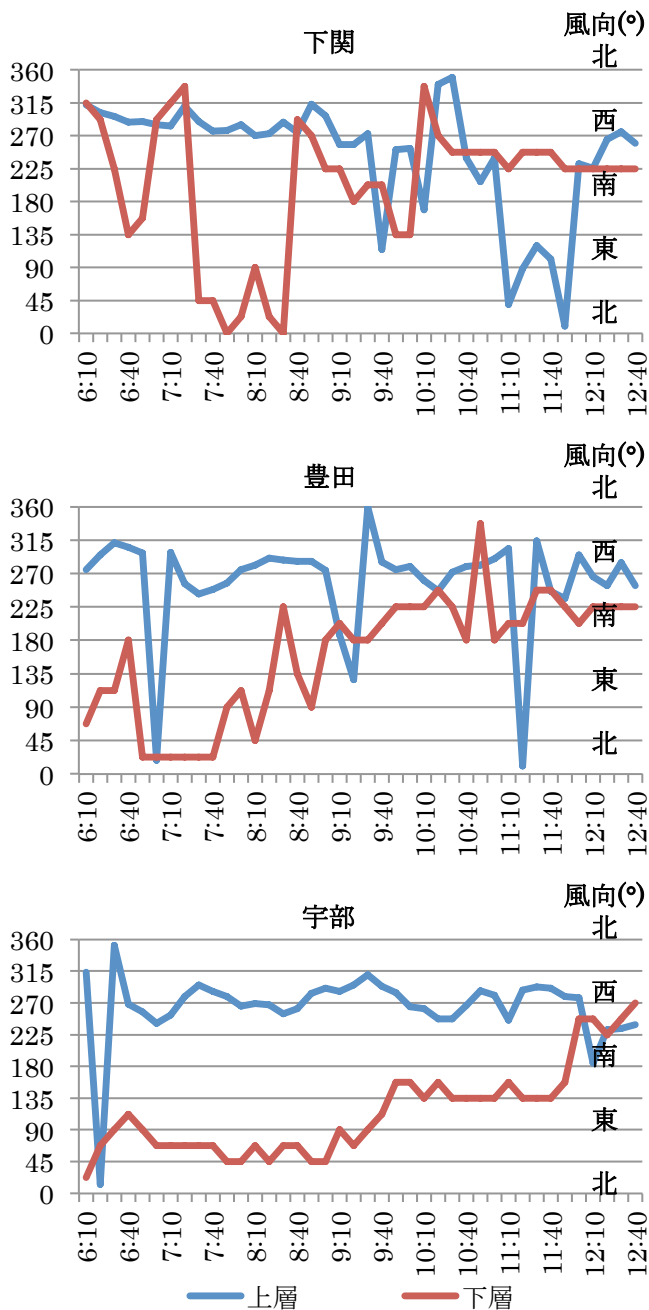


図 5 上層と下層の風向比較

## 6. まとめ

本研究では、平成 21 年 7 月中国・九州北部豪雨を対象に、エコー頂高度データとアメダスのデータを用いてメソ対流系におけるウインドシアの検出を試みた。その結果、集中豪雨が観測された防府市の風上において、大気における上層の風向きと下層の風向きが異なる時間帯があることを観測することができた。

メソ対流系におけるウインドシアが観測できれば、その風下の地域で集中豪雨がおこるという予報を実現

できる可能性が高くなる。しかしながら、本研究では下層の風向観測にアメダスのデータを用いているため、このままでは全国各地における集中豪雨の予想に発展させることができない。現在、国土交通省は X バンドレーダーの整備を進めている。X バンドレーダーの定量観測範囲は半径 60km、250m メッシュのデータとなり、情報更新のタイムラグは 1 分になることで、詳細な降雨状況のデータを得ることができるようになる。また、アメダスの観測地点だけでなく、風向、風速の観測地点を全国各地に密に設置するということも考えられる。このようになれば、ウインドシアの検出をより広範囲で詳細にできるようになると考えられる。

本研究ではオプティカルフローの算出に勾配法（局所最適化法）を用いた。しかし積乱雲の生成や消滅、発達を考慮すると勾配法の理想的な条件を満たしていないため精度は落ちてしまう。そこで濃淡値の生成消滅を考慮した勾配法[5]を用いてオプティカルフローを算出すると、より精度を上げることが可能であると考えられる。

今回は大気の状態を表す変数として、風向・風速に着目して研究を進めてきたが、気温や湿度、気圧などの様々な要素が風や気流、雲の生成に大きな影響を与えている。ウインドシアの検出を集中豪雨の予報に結び付けるためには、ウインドシアが生じている時、他の要素はどのような状態にあり、推移しているかを解析する必要がある。

## 文献

- [1]中北英一，寺園正彦，“地形性降雨を考慮した慰留モデルによる短時間降雨予測手法の精度向上に関する研究”，京都大学防災研究所年報，第 52 号(B)，pp.527-538，2009.
- [2]中北英一，山口弘誠，山邊洋之，“レーダー情報を用いたゲリラ豪雨の卵の解析”，京都大学防災研究所年報，第 52 号(B)，pp.547-562，2009.
- [3]三浦真磁，竹内和広，前川泰之，“レーダー・アメダス解析雨量画像および対流圏風速場を用いた雨域移動ベクトルの解析”，電子情報通信学会技術研究報告．IE，画像工学 105(37)，pp.7-12，2005.
- [4]吉崎正憲，加藤輝之，応用気象学シリーズ 4 豪雨・豪雪の気象学，朝倉書店，東京，2007.
- [5]三池秀敏，長篤志，三浦一幸，杉村敦彦，“一般化勾配法によるオプティカルフローの検出：不均一照明下での物体運動の計測”，情報処理学会論文誌：コンピュータビジョンとイメージメディア，49，pp.1-12，2008.

[6] 加藤輝之, “平成 21 年 7 月中国・九州北部豪雨および 8 月 8～10 日四国・岡山・兵庫での豪雨の発生要因”, 日本気象学会 2009 年度秋期大会講演予講集, 96, pp.152, 2009.