

# バングラデシュにおける下降流突風に伴う地上気象の変化

山 根 悠 介

Temporal variations of surface meteorological elements associated with gust produced by downdraft of cumulonimbus in Bangladesh

Yusuke YAMANE

2018 年 11 月 9 日受理

## 抄 録

本稿は、2014 年 4 月から 5 月にバングラデシュで実施した地上気象観測で捉えられた積乱雲からの下降流突風に伴う地上気象の特徴的な変化について報告するものである。本研究では、次の 3 つの条件を下降流突風に伴う地上気象変動の特徴と考え、これらの条件を満たす変動が確認されたものを下降流突風の事例と認定した：①風速の急激な上昇②気圧の急激な上昇③気温の急激な下降。結果として 8 つの下降流突風事例を確認した。

8 つの事例全てにおいて、下降流突風に伴う比湿（大気中の水蒸気量）の急激な減少が確認された。これは、積乱雲に乾燥した空気が流入し、雲内または雲低での雨粒の蒸発と氷の融解に伴う冷却が促進されて下降流突風が強まるというメカニズムの存在を示唆している。このことは、下降流突風が強化されてダウンバーストの発生に至るという、ダウンバーストの発生に対する積乱雲へ流入する乾燥空気の寄与を示唆するものである。

キーワード：下降流突風，ダウンバースト，バングラデシュ，地上気象，観測

## 1. はじめに

下降流突風とは、積乱雲からの冷たい下降気流が地表に到達して四方八方に吹き出す突風のことである。積乱雲の一生は、発達期・成熟期・衰弱期に分けることができる。成熟期においては、積乱雲の内部に成長した雨粒や氷が存在し、これらが重力によって落下するとき周囲の空気を引きずりながら落下する。このようにして積乱雲の内部に下降流が生じる。また雨粒と氷の粒は落下しながらそれぞれ蒸発、融解する。蒸発、融解するとき周囲から熱を奪うので、周囲の空気は冷却される。このようにして積乱雲からの冷たい下降気流が形成される（大野，2001）。このようなしくみで形成された積乱雲からの下降気流が地上で災害をもたらすほど強くなったものをダウン

バーストとよぶ（小倉，1994）。

バングラデシュでは、雨季（6月から9月）に入る前の3月から5月（プレモンスーン期）に、積乱雲に伴う突発的で激しい局所嵐（シビアローカルストーム）が多発する（Yamane et al., 2010a）。積乱雲に伴う下降流突風もシビアローカルストームの一つであり、プレモンスーン期に多発し毎年被害が発生している。過去の顕著な被害例を挙げると、2003年4月21日バングラデシュを流れるメグナ川でフェリーがダウンバーストと思われる突風により転覆し、およそ200人が死亡した。

バングラデシュにおける下降流突風に関しては、これまであまり研究が進められていないのが現状である。下降流突風が発生したときの大規模な気象状況について調べた事例解析が幾つかある（Prasad（2006）など）ものの、下降流突風の詳細については不明な点が多い。いかなる気象条件においてどのようなメカニズムで下降流突風が発生・発達するのか未解明である。下降流突風に関する気象学的知見が不足していることもあり、被害軽減のための有効な予測手法の構築もなされていない。

著者は、Yamane et al.（2010a）で示されたシビアローカルストームの頻発地域において、シビアローカルストームが多く発生するプレモンスーン期に時間高分解能な地上気象観測を行い、シビアローカルストームの襲来前から通過後までの一連の地上気象要素（気圧・気温・湿度・風向・風速）の変動を詳細に観測した（科学研究費補助金若手B「バングラデシュにおけるシビアローカルストームの高精度構造把握と予測に関する研究」（代表者：山根悠介，期間：平成25年～平成26年度））。この集中観測において複数の下降流突風事例が観測され、突風に伴う特徴的な地上の気象変動が捉えられた。

本稿は、上記集中観測において観測された下降流突風に伴う地上気象変動の特徴について報告するものである。

## 2. 方法とデータ

### 2. 1 集中観測について

バングラデシュにおいてシビアローカルストームが頻発するプレモンスーン期に自動気象観測装置による集中観測を実施した（2014年の4月から5月）。シビアローカルストームの常襲地域における4地点（Dhaka県（Sher-e-Bangla農業大学、Jahangirnagar大学）、Bogra県（Rural Development Academy）、Mymensingh県（マイメンシン農業大学））に測器を設置し、シビアローカルストーム通過時の気温・気圧・湿度・風向・風速の変動を1分間隔で観測した。これらの気象要素の観測に使用した測器はAirmar社製センサー150WX、このセンサーによって観測されたデータを記録するロガーは東洋電子製BL-5156である。また、DhakaのSher-e-Bangla農業大学では転倒ます雨量計（太田計器製）による雨量の観測も行ったが、本稿において雨量データの解析結果には触れない。

## 2. 2 観測された下降流突風事例について

表 1 に下降流突風に伴う地上気象変動が観測された 8 例の発生日月日と場所を示す。下降流に伴って地上では風速と気圧の急激な上昇，気温の急激な下降を伴うことが知られている（小倉，1994）。本研究ではこれらの知見に基づき，①風速の急激な上昇②気圧の急激な上昇③気温の急激な下降の 3 つがほぼ同時に確認できたものを下降流突風に伴う地上気象変動とした。その結果，表 1 に示す①から⑧までの下降流突風を確認することができた。本研究ではこれらの事例を解析の対象とした。

【表 1】本研究で解析対象とした下降流突風の事例

	発生日月日（発生日時刻）	場所
事例①	2014 年 4 月 26 日（19 時頃）	Dhaka
事例②	2014 年 4 月 28 日（8 時頃・10 時頃）	Dhaka
事例③	2014 年 4 月 29 日（16 時半頃）	Dhaka
事例④	2014 年 5 月 7 日（13 時半頃）	Dhaka
事例⑤	2014 年 5 月 13 日（18 時頃）	Dhaka
事例⑥	2014 年 5 月 17 日（18 時半頃）	Mymensingh
事例⑦	2014 年 5 月 22 日（15 時頃・22 時頃）	Bogra
事例⑧	2014 年 5 月 25 日（14 時頃）	Dhaka

## 3. 結果と考察

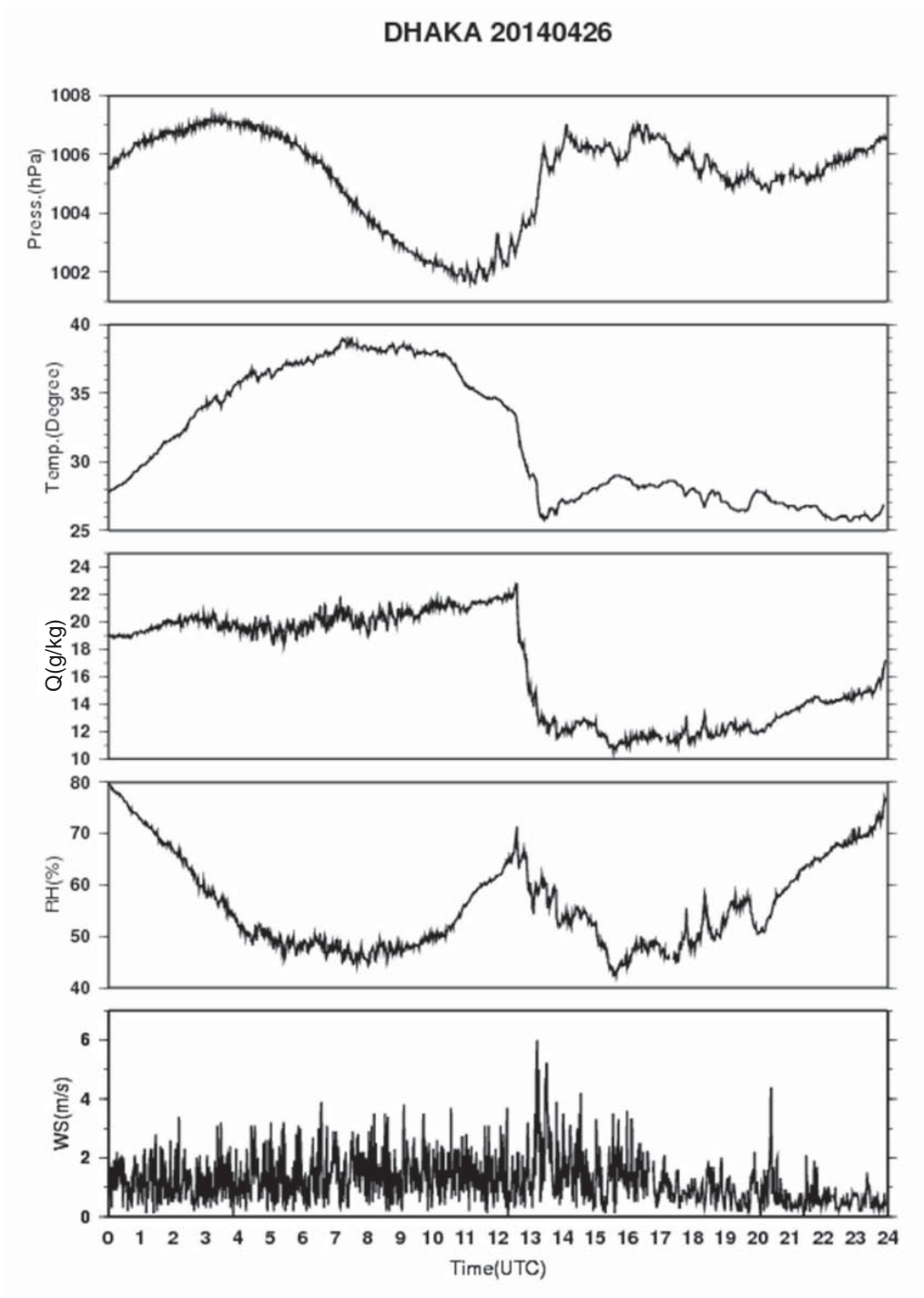
図 1 から図 8 に表 1 で示した事例①から事例⑧において観測された気圧，気温，比湿（水蒸気量），相対湿度，風速の時間変動を示す。横軸の時刻は世界標準時である。現地時刻は世界標準時に 6 時間を足したものになる。

### 事例①（2014 年 4 月 26 日）

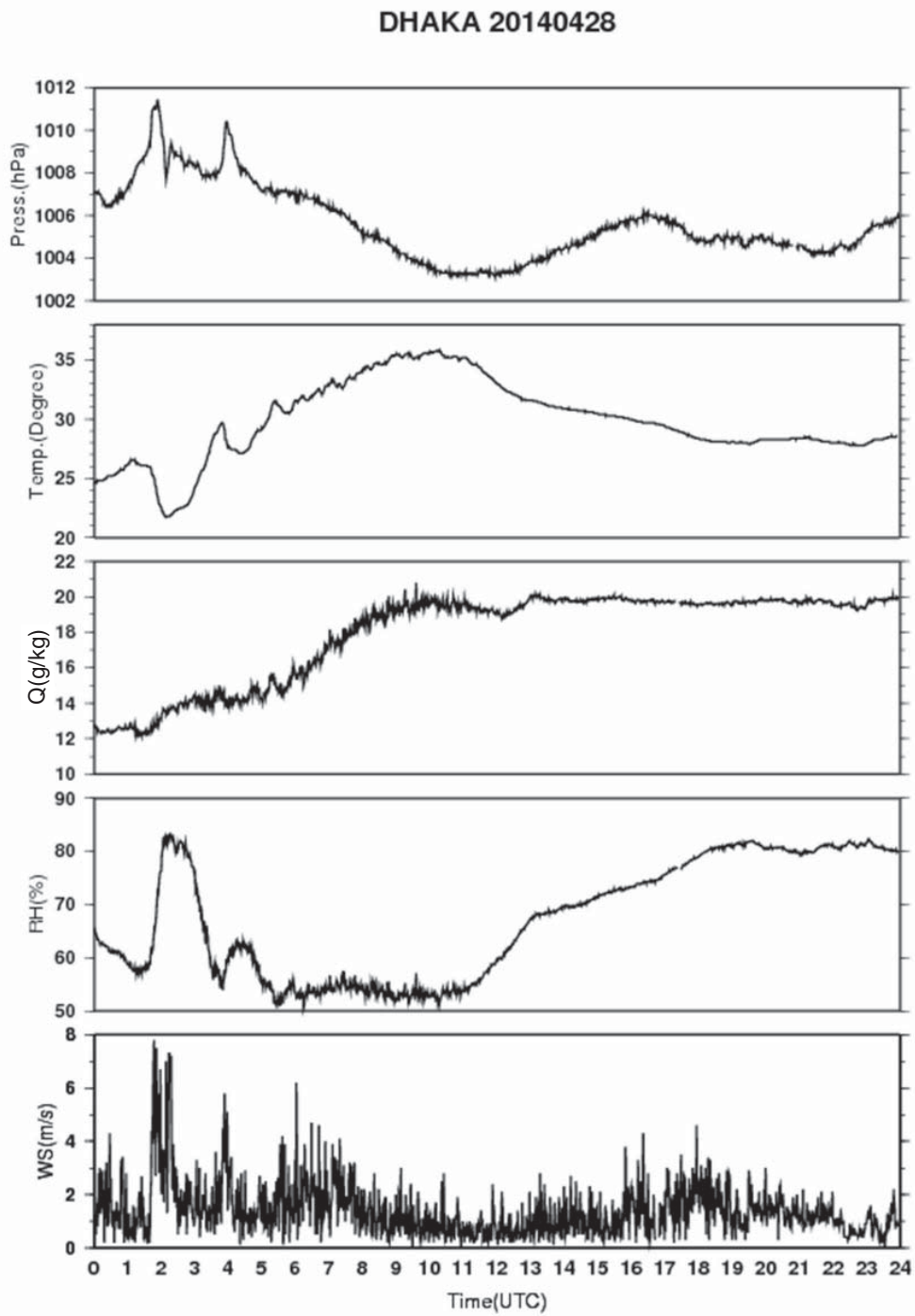
図 1 を見ると，世界標準時 13 時頃（現地時刻 19 時頃）に最大 6 m/s の風速の急激な上昇が見られ，それに伴って気圧の約 2 hPa の急激な上昇，最大約 11 °C の気温の急激な下降，そして最大 11 g/kg の比湿の急激な減少が見られる。この比湿の急激な減少に伴って相対湿度の減少（約 20%）も見られる。

### 事例②（2014 年 4 月 28 日）

図 2 を見ると，世界標準時 2 時頃と 4 時頃（現地時刻 8 時頃と 10 時頃）にそれぞれ最大約 8 m/s と約 6 m/s の風速の急激な上昇が見られ，それぞれに伴って気圧の約 5 hPa と 3 hPa の急激な上昇，最大約 5 °C と 2 °C の気温の急激な下降が見られる。比湿については，2 時頃の突風に伴って 1 g/kg の小さな減少があるが，事例①の減少に比べると小さい。4 時頃の突風の時には比湿の目立った変化は見られない。相対湿度については，2 つの突風に伴って急激な上昇（およそ 30% と 10%）が見られる。これは，比湿に大きな変化がなく気温が急激に下がったため相対湿度が上昇したと考えられる。6 時頃にも最大 6 m/s 程度の風速の急激な上昇がみられるが，それに伴う気圧や気温，比湿，相対湿度の大きな変化は見られない。



【図1】2014年4月26日ダッカ（Dhaka）における下降流突風に伴う地上気象変動（一番上から、気圧、気温、比湿、相対湿度、風速）



【図2】2014年4月28日ダッカ（Dhaka）における下降流突風に伴う地上気象変動（一番上から、気圧、気温、比湿、相対湿度、風速）

### 事例③（2014年4月29日）

図3を見ると、世界標準時15時半頃と16時半頃（現地時刻21時半頃と22時半頃）に最大およそ9 m/sと8.5 m/sの風速の急激な強まりが見られる。16時半頃の突風に伴って気圧の約4 hPaの急激な上昇が見られるが、15時半頃の突風には気圧の急激な上昇は見られない。よって、15時半頃の突風は上記の3つの要件を満たさないため、本研究では下降流突風とは認めない。気温については、それぞれの突風で最大約9℃と4℃の急激な下降、比湿についてもそれぞれの突風で8 g/kgと4 g/kgの急激な減少が見られる。また、これらの比湿の減少に対応した相対湿度の大きな減少（約15%）があり、これらの急激な減少の後に急激な上昇も見られる。15時半頃の突風に関して、気温の急激な減少は見られたが気圧の急激な上昇を伴わなかったのは、この突風が下降流突風ではなくガストフロント（大野，2001）に伴う突風であったからかもしれない。

### 事例④（2014年5月7日）

図4を見ると、世界標準時7時半頃（現地時刻13時半頃）に最大8 m/sの風速の急激な上昇が見られ、それに伴って約0.5 hPaの気圧の急な上昇、最大約10℃の気温の急激な下降、そして最大4 g/kgの比湿の急激な減少が見られる。この比湿の急激な減少に伴って相対湿度の大きな上昇（約30%）も見られる。他の事例に比べると、この突風に伴う気圧の上昇は小さい。これは、観測地点が積乱雲直下の下降流が強いところから離れていたからかもしれない。

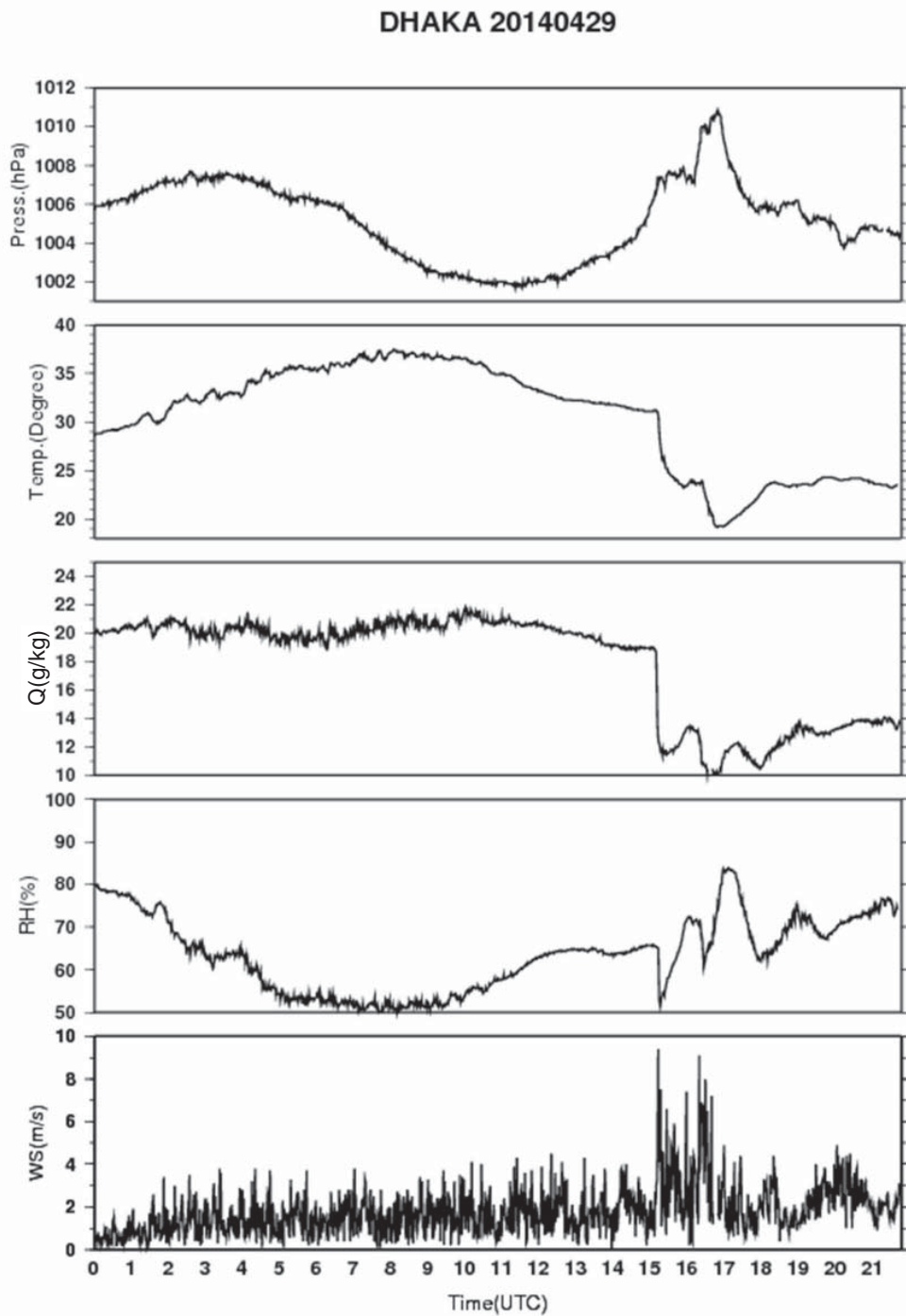
### 事例⑤（2014年5月13日）

図5を見ると、世界標準時12時頃（現地時刻18時頃）に最大19 m/sの風速の急激な上昇が見られ、それに伴って気圧の最大約4 hPaの急激な上昇、最大約10℃の気温の下降、そして最大9 g/kgの比湿の急激な減少が見られる。この比湿の急激な減少に伴って相対湿度の大きな減少（約30%）も見られる。相対湿度は急激に減少した後、急激に増加している。15時頃に比湿の急な減少（2 g/kg）とそれに伴う相対湿度の減少（15%）が見られるが、これらの原因は不明である。この事例の突風に伴う風速は、本研究が対象とする8事例の中で最も大きい。

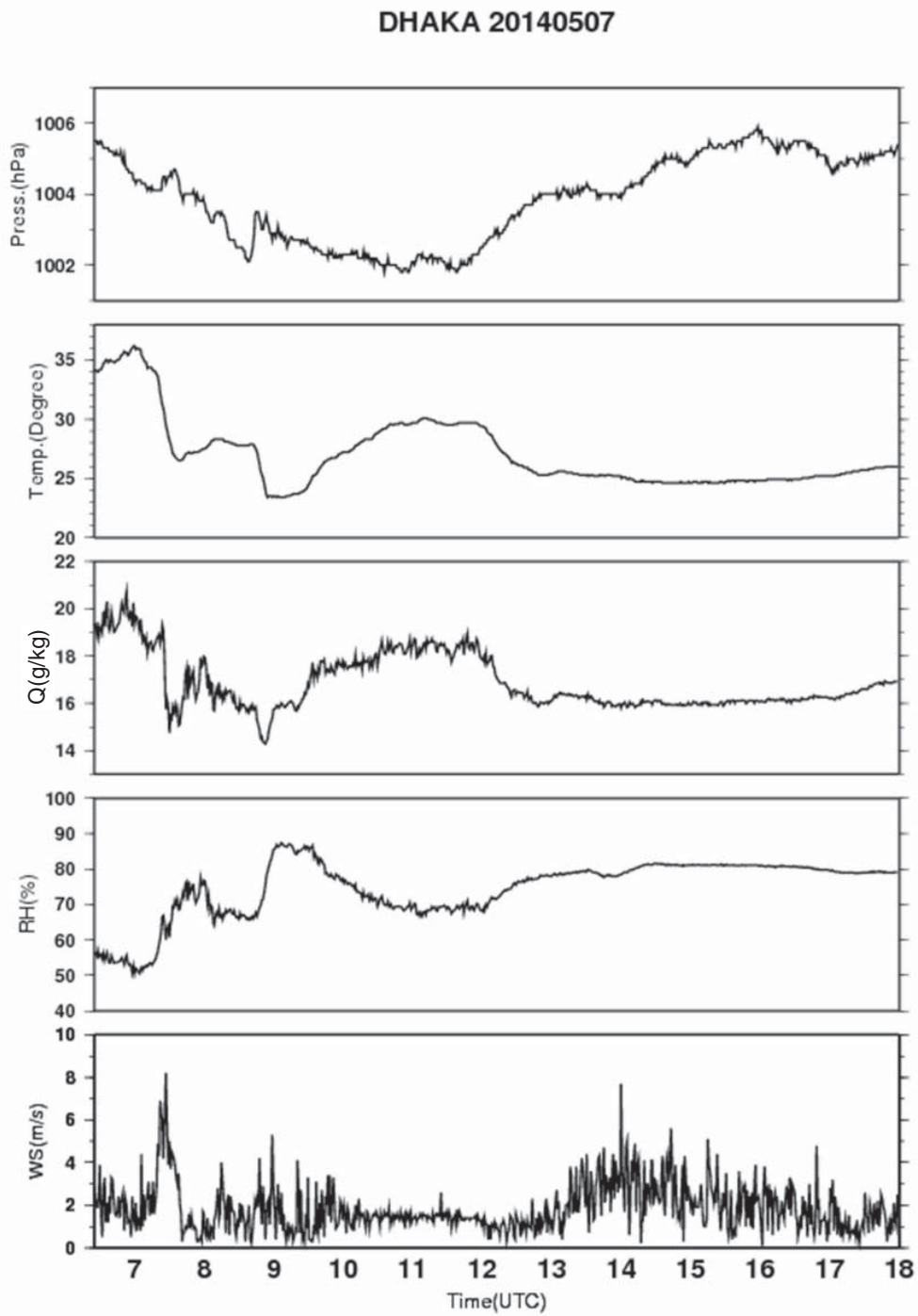
### 事例⑥（2014年5月17日）

図6を見ると、世界標準時12時半頃（現地時刻18時半頃）に最大11 m/sの風速の急激な上昇が見られ、それに伴って気圧の最大約4 hPaの急激な上昇、最大約11℃の気温の下降、そして最大9 g/kgの比湿の急激な減少が見られる。この比湿の急激な減少に伴って相対湿度の減少（約10%）も見られる。相対湿度は急激に減少した後、急激に増加する（約20%）。突風に伴う気圧の急激な上昇の直前に1 hPa程度の急激な減少が見られるが、この原因は不明である。



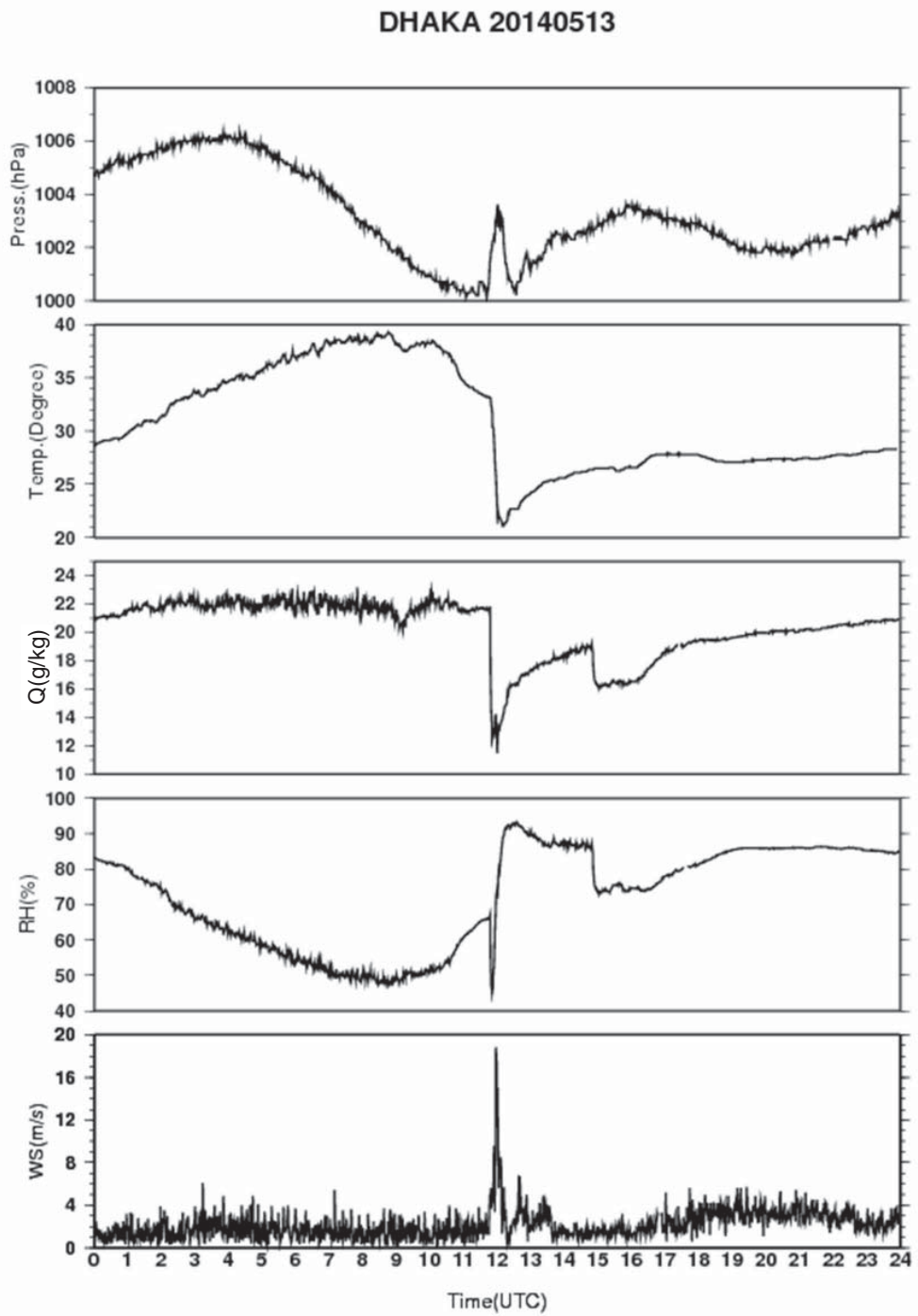


【図3】2014年4月29日ダッカ（Dhaka）における下降流突風に伴う地上気象変動（一番上から、気圧、気温、比湿、相対湿度、風速）

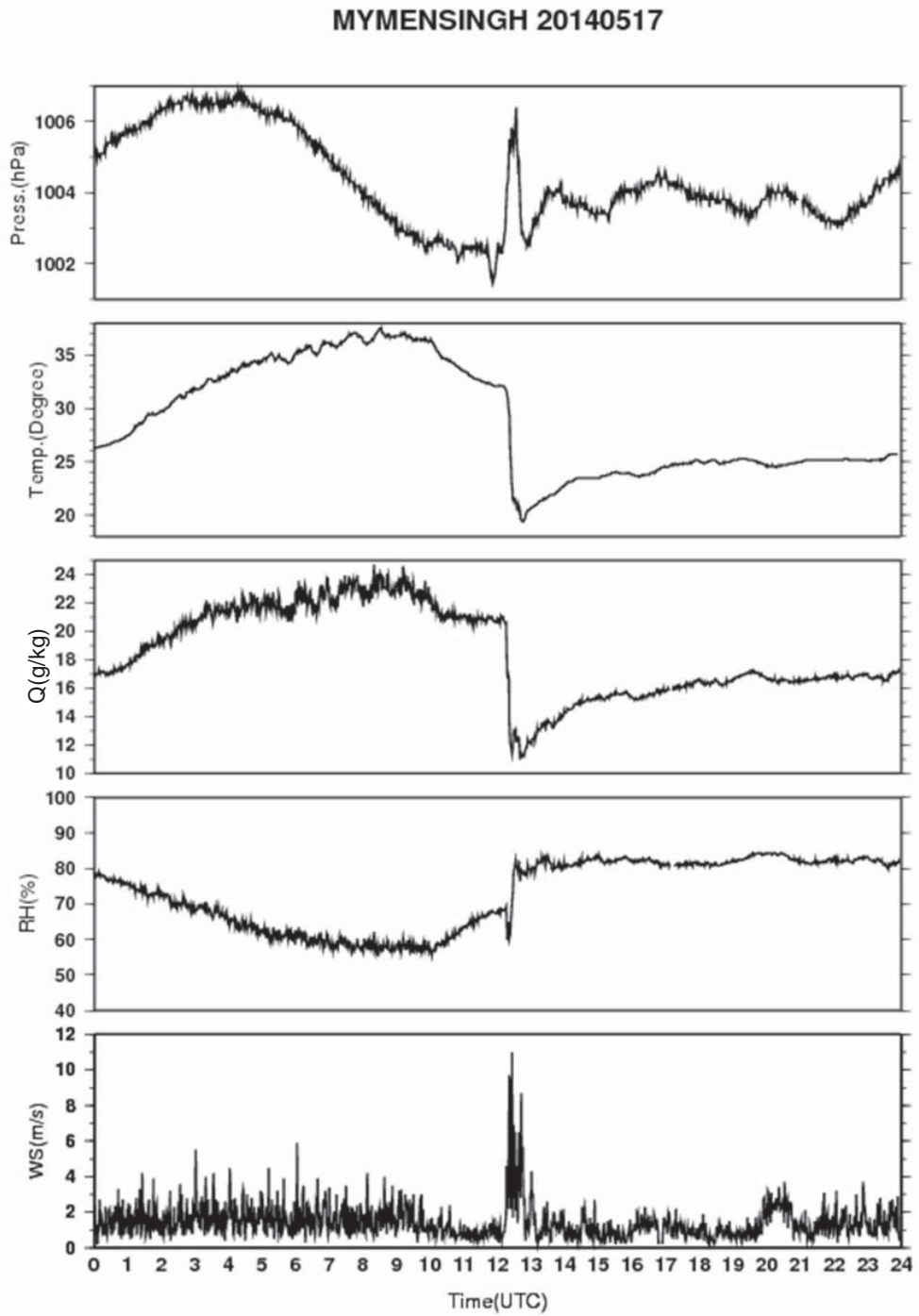


【図4】2014年5月7日ダッカ（Dhaka）における下降流突風に伴う地上気象変動（一番上から，気圧，気温，比湿，相対湿度，風速）





【図5】2014年5月13日ダッカ（Dhaka）における下降流突風に伴う地上気象変動（一番上から、気圧、気温、比湿、相対湿度、風速）



【図 6】 2014 年 5 月 17 日マイメンシン（Mymensingh）における下降流突風に伴う地上気象変動（一番上から、気圧、気温、比湿、相対湿度、風速）

#### 事例⑦（2014年5月22日）

図7を見ると、世界標準時9時頃と16時頃（現地時刻15時頃と22時頃）にそれぞれ最大約10 m/sの風速の急激な強まりが見られ、それに伴って気圧の最大約2 hPaと約4 hPaの急激な上昇、最大約10℃の気温の下降、そして最大約6 g/kgと約8 g/kgの比湿の急激な減少が見られる。この比湿の急激な減少に伴って相対湿度の増加（最大約30%と15%）も見られる。より詳細に見ると、15時半から16時半にかけて幾つかの風速のピークがあり、それらに対応して気圧のピークも複数ある。これらのことは、突風が短い時間の中で激しく変動していたことを示している。

#### 事例⑧（2014年5月25日）

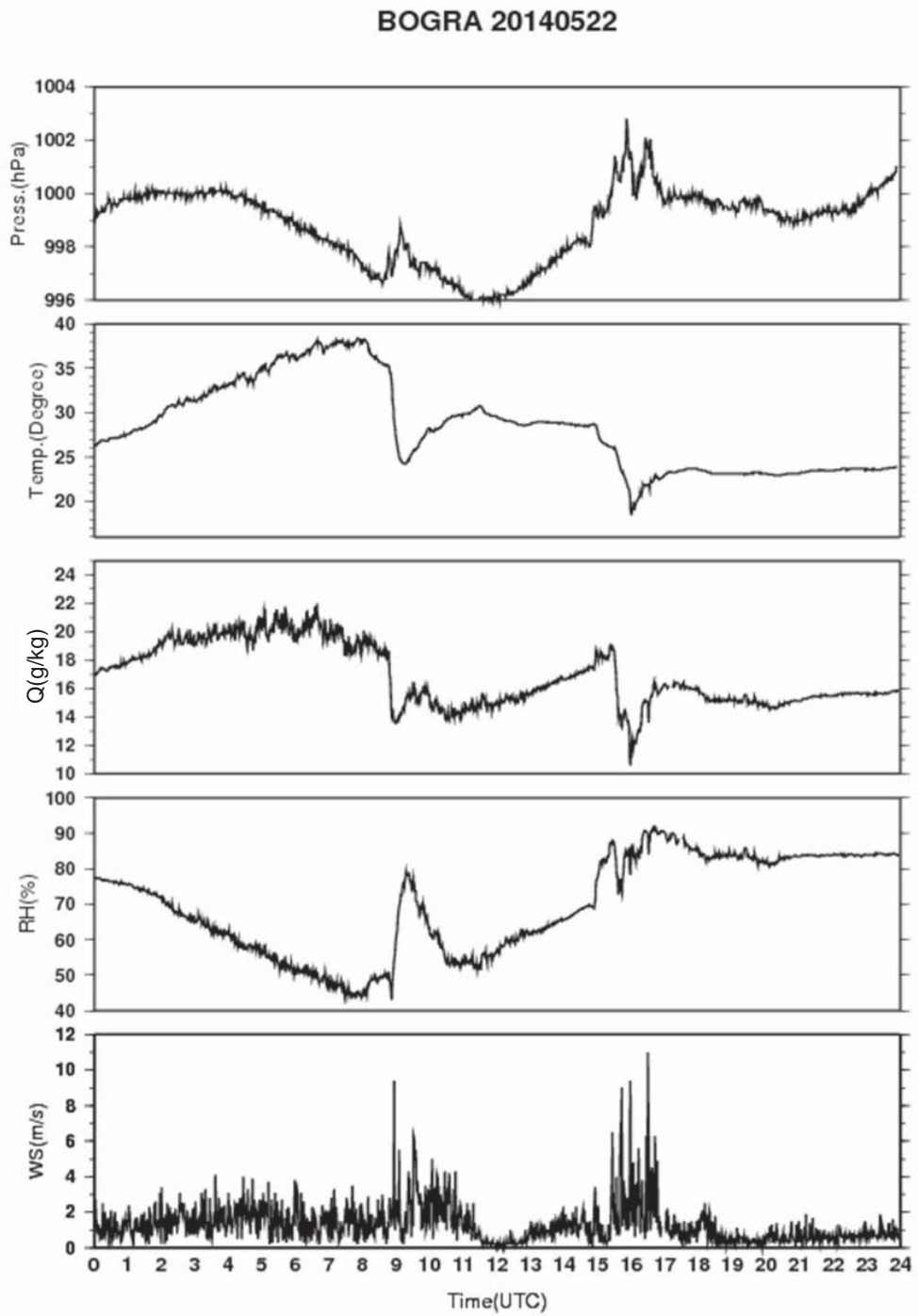
図8を見ると、世界標準時8時頃（現地時刻14時頃）に最大7 m/sの風速の急激な上昇が見られ、それに伴って気圧の最大約1 hPaの急激な上昇、最大約10℃の気温の下降、そして最大約2 g/kgの比湿の減少が見られる。この比湿の急激な減少に伴って相対湿度の急激な増加（最大約35%）も見られる。9時半頃にも最大9 m/sの急激な風速の上昇が見られるが、顕著な気圧の上昇を伴っておらず、また気温の変動も見られない。よって、本研究ではこの突風は下降流突風として認めない。この突風の原因は不明である。

上記8つの事例において、下降流突風に伴って地上での比湿の減少が見られた。これは、下降流突風を伴う積乱雲の雲内或いは雲底に積乱雲の周囲から乾燥した空気が流入した可能性を示唆している。乾燥空気が積乱雲に流入すると下降気流が乾燥化し、それが地表面に到達すると地上での比湿の減少として観測される。また、乾燥空気が雲内または雲底に流入すると、雨粒の蒸発や氷の融解に伴う冷却が促進されることで下降流がより冷たく重くなり、下降流が強化される。今回の観測で捉えられた下降流突風に伴う比湿の急激な減少は、積乱雲に流入する乾燥空気が下降流突風を強化しそれがダウンバーストに至るというメカニズムの存在を示唆している。

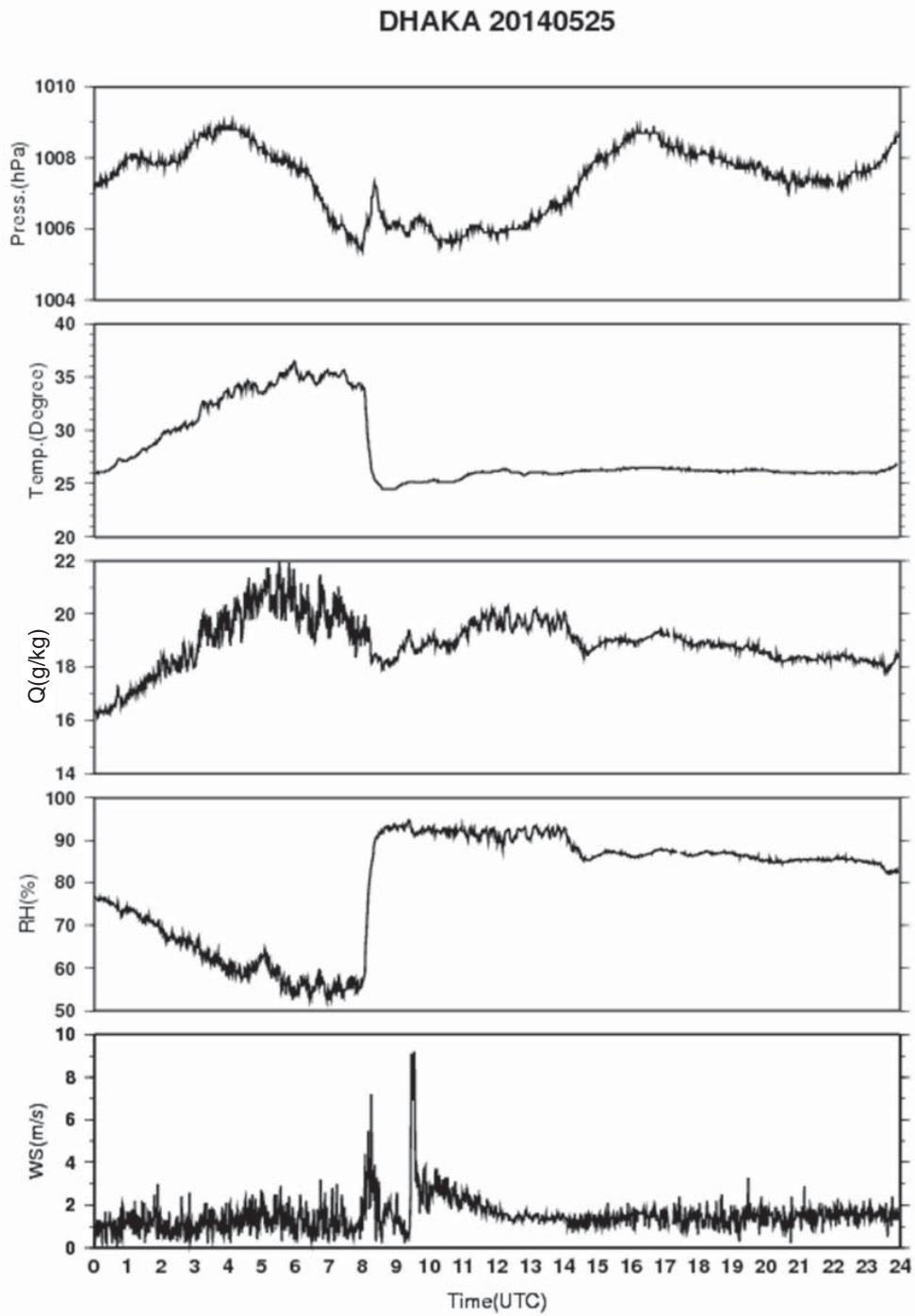
#### 4. まとめと今後の課題

本稿では、2014年4月から5月にバングラデシュで実施した地上気象集中観測で捉えられた下降流突風に伴う地上気象要素の特徴的な変化について報告した。下降流突風の地上での一般的な特徴である①風速の急激な上昇②気圧の急激な上昇③気温の急激な下降という3つの条件を満たした下降流突風を8事例確認した。

これら8事例の全てにおいて、下降流突風に伴って地上で比湿（大気中の水蒸気量）が減少することが確認された。これは、積乱雲に乾燥した空気が流入することで雲内または雲底での雨粒の蒸発と氷の融解に伴う冷却が促進されて下降流突風が強まるといふメカニズムの存在を示唆している。これはダウンバーストの発生・強化に対する積乱雲に流入する乾燥空気の寄与を示唆するものである。



【図7】2014年5月22日ボグラ（Bogra）における下降流突風に伴う地上気象変動（一番上から、気圧、気温、比湿、相対湿度、風速）



【図8】2014年5月25日ダッカ（Dhaka）における下降流突風に伴う地上気象変動（一番上から、気圧、気温、比湿、相対湿度、風速）

今後、地上と高層の同時集中観測を実施することで下降流突風を伴う積乱雲への乾燥空気の流入の有無を確かめ、乾燥空気の流入が認められる場合、どのように流入しているのかなど、乾燥空気の挙動の詳細を把握したい。下降流突風の発生と強化に対する乾燥空気の寄与の詳細が明らかになれば、下降流突風とダウンバーストの予測手法の開発につながる事が期待される。

本研究は、科学研究費補助金若手 B「バングラデシュにおけるシビアローカルストームの高精度構造把握と予測に関する研究」（代表：山根悠介，期間：平成 25 年度～平成 26 年度，課題番号：25750153）により実施されたものである。

#### 参考文献

大野久雄，2001，，雷雨とメソ気象，東京堂出版，pp.309.

小倉義光，1994，お天気の世界，森北出版株式会社，pp.226.

Yamane, Y., Hayashi, T., A. M. Dewan, and F. Akter, 2010, Severe Local Convective Storms in Bangladesh: Part I . *Climatology, Atmospheric Research*, 95(4), pp.400-406.

Prasad, K., 2006, Environmental and synoptic conditions associated with nor' westers and tornadoes in Bangladesh – An appraisal based on numerical weather prediction (NWP) guidance products, SMRC (SAARC Meteorological Research Centre) reports No.14, pp.74.