

PIV 解析手法を用いた夏季の対流性降雨時における大気擾乱の定量評価

千葉工業大学 学生会員 ○渡辺 大樹
千葉工業大学 正会員 小田 僚子

1. 目的

首都圏では局地的大雨が毎年のように発生しており、その予測・解明が急務となっている。その手段の1つとして大気上空の降雨を地上から捉えるレーダーの活躍が期待されている。

本研究では、気象レーダーより高い時間・空間分解能を有するマリンレーダーによる観測で得られた降雨の鉛直画像を基に、粒子画像流速測定法（以下、PIV 解析）を用いて、夏季の対流性降雨時における降雨粒子の鉛直分布を捉え、降雨中の大気擾乱を統計的に定量評価することを目的とした。

2. 観測概要

千葉工業大学新習志野キャンパス12号館屋上に設置されたマリンレーダー（MDC-2920／光電製作所）で降雨鉛直断面の観測を行う。観測された降雨エコー画像については距離補正を行い、降雨エコー強度を算出している。本レーダーの設置状況と詳細をそれぞれ図-1、表-1に示す。同地点ではディストロメータ（Parsivel-2／OTT 社）を用いて地上における降雨強度も観測している。本研究では夏季の対流性降雨に着目し、解析対象日は2016～2017年の6～9月とした。

3. 降雨強度別の分類

図-2に降雨エコー強度の鉛直断面図を示す。赤色が濃いほど降雨エコー強度が強いことを意味する。本研究で対象とした対流性降雨については、局地的大雨のように短時間で降雨強度が強い“深い対流性降雨”（図-2(a)）と降雨強度が比較的弱い“浅い対流性降雨”（図-2(b)）に区別した。降雨強度別に閾値を定め、深い対流性降雨は(1) 10 mm h^{-1} 以上と(2) 5 mm h^{-1} 以上 10 mm h^{-1} 未満、浅い対流性降雨は(3) 2.5 mm h^{-1} 以上 3 mm h^{-1} 未満と(4) 2 mm h^{-1} 以上 2.5 mm h^{-1} 未満と4パターンに分類した。10分を1事例とした結果104事例が抽出され、内訳はそれぞれ(1)26事例、(2)43事例、(3)14事例、(4)21事例であった。



図-1 マリンレーダーの設置状況

表-1 マリンレーダーの詳細

型番	光電製作所 MDC-2920
周波数	Xバンド 9410MHz
アンテナ長	2m
送電電力	25kW
パルス幅	0.75NM
測定レンジ	水平:約7.4km 鉛直:約3.7km
時間分解能	約2s
距離分解能	12m

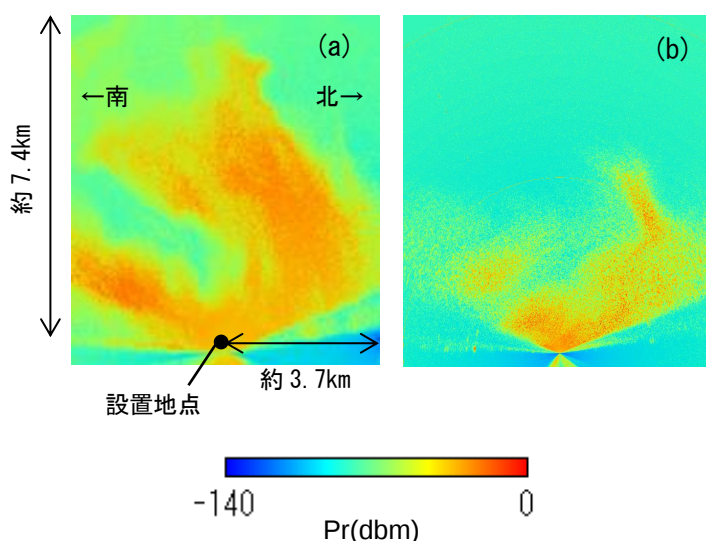


図-2 (a) 深い対流性降雨と(b) 浅い対流性降雨における降雨エコー強度鉛直断面の一例

4. PIV 解析による雨滴の挙動の定量評価

PIV 解析は流体内にトレーサー粒子を混入させ、その動きを追跡して流れを可視化する手法である。本研究では降雨エコーをトレーサー粒子として PIV 解析することで降雨中の雨滴の挙動を定量的に評価した¹⁾ (図-3)。

降雨強度別の速度ベクトルの平均高度分布を図-4に示す。深い対流性降雨である 10 mm h^{-1} 以上の結果 (図-4(a)) をみると、高度約 5 km 以下では下降流が卓越する傾向がみられ、上空から地上に向けて雨滴が落下している様子が捉えられている。それ以上の高度では標準偏差が大きくなっているが、個々の事例に着目すると強い上昇流により雨滴が舞い上がる様子がみられており、平均的にはやや下降流傾向ではあるものの上層では下降流と上昇流が混在する状況であった。 5 mm h^{-1} 以上 10 mm h^{-1} 未満 (図-4(b)) では、 10 mm h^{-1} の結果と同様に高度 4 km 以下の下層では下降流が卓越している傾向が見られた。対流性降雨の発達段階では雲の中層にて乱流変動が活発となり上昇流・下降流が顕著となることが指摘されているが²⁾、本研究においても上層で明瞭な上昇流が観測され、擾乱が激しい様子が捉えられた。一方、浅い対流性降雨である 2.5 mm h^{-1} 以上 3 mm h^{-1} 未満 (図-4(c))、 2 mm h^{-1} 以上 2.5 mm h^{-1} 未満の事例 (図-4(d)) においては、高度 $3\sim 4\text{ km}$ 以下で下降流傾向が見られるものの、深い対流性降雨よりはその強さ (速度) は弱い。上層ではやや上昇流傾向にも見えるが、高度 5 km 以上で事例数が平均 4 事例ということ を考慮すると、上層では上昇／下降流傾向が認められるとは言い難い。浅い対流性降雨は降雨が収束

していく段階の事例が多く、深い対流性降雨と比較して鉛直擾乱が全体的に弱かったと考えられる。

5. まとめ

降雨エコーをトレーサー粒子として用いた PIV 解析により、対流性降雨時における大気擾乱について統計的な評価を行った。降雨強度別に深い対流性降雨と浅い対流性降雨に分けて評価した結果、前者は高度 $4\sim 5\text{ km}$ あたりを境に下層で下降流が卓越する傾向が見られ、後者は高度 $3\sim 4\text{ km}$ 以下で相対的に弱い下降流の傾向が見られた。特に降雨強度 10 mm h^{-1} の強い降雨事例においては、高度 5 km より上空で強い上昇流が存在する事例がみられ、上空での大気擾乱が活発であることが示された。

謝辞

レーダーの設置・運用に際し、北海道大学名誉教授 藤吉康志先生にご指導いただきました。また、本研究は科研費若手研究(B) (15K18125) の支援を受けました。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 松井貴裕, 小田僚子: 船舶レーダーで観測された降雨の鉛直構造, 土木学会関東支部第 43 回技術研究発表会, 東京, 2016 年 3 月。
- 2) 水野量: 雲と雨の気象学, 朝倉書店, pp137-139, 2000。

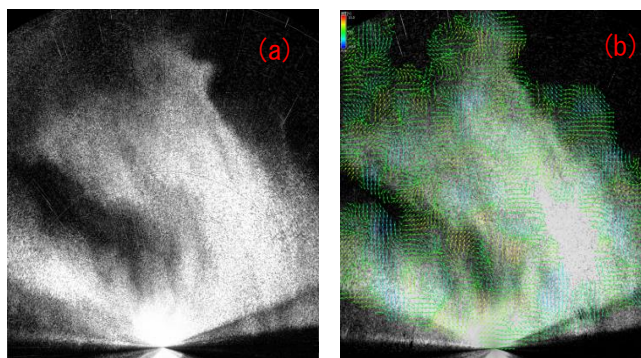


図-3 (a)PIV 解析前 (b)解析後のレーダー画像
ベクトルは暖色系が上昇流を意味する。

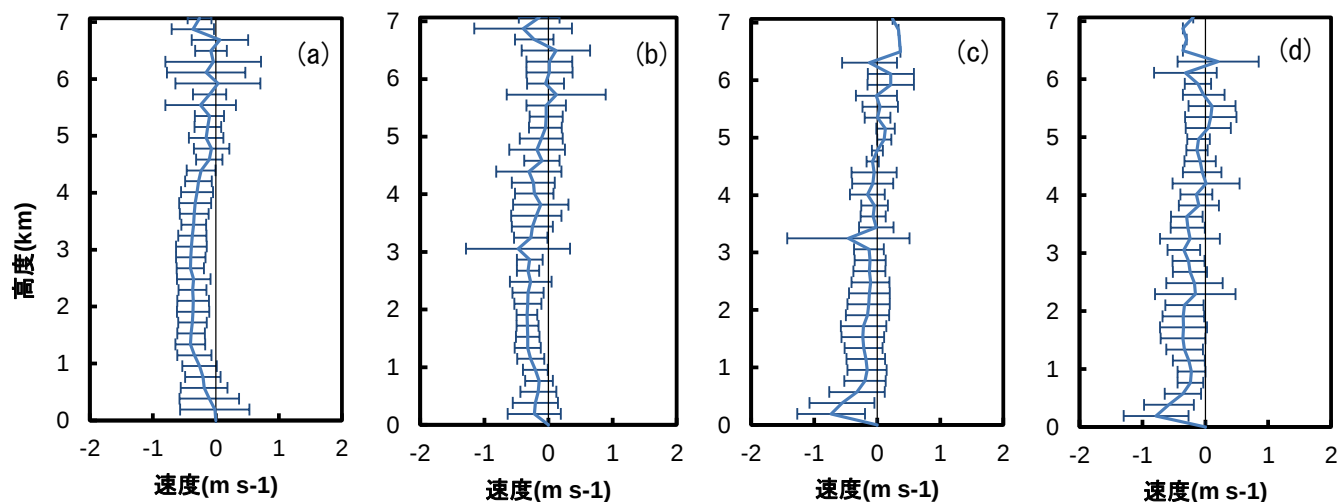


図-4 降雨強度別の速度ベクトルの平均高度分布

(a) 10 mm h^{-1} 以上, (b) $5\text{ mm h}^{-1} \sim 10\text{ mm h}^{-1}$, (c) $2.5\text{ mm h}^{-1} \sim 3\text{ mm h}^{-1}$, (d) $2\text{ mm h}^{-1} \sim 2.5\text{ mm h}^{-1}$