

中立大気中における対数則の成立割合の検討

千葉工業大学 学生会員 ○伊藤 雄基
 千葉工業大学 正会員 小田 僚子
 東京工業大学 正会員 稲垣 厚至

1. 緒言

1.1 研究背景

近年は都市域において局地的大雨が深刻化しており、下水道の排水能力を超えたことによる内水氾濫や地下空間への浸水といった水害を引き起こしている。このような災害を未然に防ぐためには、都市域における局地的大雨の予測・解明が急務である。そのためのアプローチとして数値シミュレーションが挙げられるが、既往研究において、都市域上の風系場や局地的大雨の発生に地表面性状を適切に評価することの重要性が指摘されている¹⁾²⁾。

接地境界層における風環境において、一般的にはあらゆる地表面上で中立大気安定度の時、対数則が成立すると考えられている。例えば Cheng ら³⁾は都市域における様々な地表面粗度を表した直方体や、立方体のブロック群を複数の条件で分けて設置した風洞実験を行い、対数則が成立していることを示した。しかしながら、地上から高度数百 m に渡る大気下層の風速の鉛直分布を容易に測定することが困難であった背景から、実在大気における観測事例はほとんどなかった。

1.2 目的

上述の背景を踏まえ、白井ら⁴⁾は東京都大田区の都市域において地上～高度数 km に渡る風環境を把握できる三次元走査型ドップラーライダーで風観測を実施し、対数則の成立割合を検討した。西風が卓越する環境場において、63%の割合で成立していることを示し、恒常的に対数則が成立しているわけではないことを指摘した。本研究では、「中立大気中における対数則の成立条件」について体系的に評価するために、白井⁴⁾とは異なる地表面条件下において評価することを目的とした。

2. 観測概要

茨城県つくば市の気象研究所構内に設置されたドップラーライダー（WLS-8/Leosphere 社；以下、ライダー）および超音波風向風速計（CYG-81000/



図-1 観測地点

YOUNG 社) を用いて 2018 年 1 月 10 日から 2 月 23 日の期間、大気境界層内の風観測を実施した(図-1)。ライダーとは大気中に光を照射し、エアロゾルに衝突して跳ね返ってきた異なる周波数の波長を捉え、その周波数差を利用して風を測定することが出来る地上リモートセンシングの一つである。本研究では高度 40m～500m までの下層大気について、高度分解能 20m、時間分解能約 7 秒のものを地上に設置して使用した。また超音波風向風速計については、計測間隔は 10Hz、地上約 7m に設置したものを使用した。

3. 解析概要

大気安定度が中立の時、接地境界層における水平風速の鉛直分布を表す対数則は以下の式で表される。

$$\frac{U}{u_*} = \frac{1}{\kappa} \ln \frac{z-d}{z_0} \quad (1)$$

ここで、 U は地上高度 z における水平スカラー風速 (m s^{-1})、 u_* は摩擦速度 (m s^{-1}) で地表面摩擦応力を速度の次元で表したものである。 κ はカルマン定数 (=0.4) である。 d はゼロ面変位 (m) という地物の凹凸によって不明瞭な地表面の基準を修正した風に対する見かけ上の地表面である。 z_0 は粗度長 (m) であり、風速が 0 m s^{-1} となった時の高度を指す。最下層風速を摩擦速度で無次元化した値 (U/u_*) を無次元風速と呼び、今回は対数則が成り立ちやすいと

キーワード 対数則, 接地境界層, 中立, 局地的大雨

連絡先 〒275-0016 千葉県習志野市津田沼 2-17-1 千葉工業大学 創造工学部 都市環境工学科

考えられるライダーの最下層風速（地上 40m 高度）を解析に用いた。摩擦速度と地上大気安定度は、同時刻に計測した超音波風向風速計の値から算出した。解析ではライダーによる風速プロファイル、超音波風向風速計による大気安定度等はともに 30 分統計量を用いた。

本研究では、上述の観測期間のうち降雨日を除いた期間（30 日間）を解析対象とした。降雨の有無は気象庁（つくば）の降雨量データにより判断した⁵⁾。また、粗度長と摩擦速度は地表面性状に依存するため、風向別（北：0°~45°、315°~360°／東：45°~135°／南：135°~225°／西：225°~315°）で解析を行った。なお、超音波風向風速計の東側には建物が近接していたことから、東以外のデータについて考察を行う。

4. 対数則の成立割合

式(1)において、ゼロ面変位と粗度長を収束計算により求め、式が収束したときを「対数測成立」と定義した。風向別の対数測成立割合およびゼロ面変位と粗度長の値をそれぞれ図-2、表-1 に示す。本観測の結果では北風時 35.1%、南風時 26.9%、西風時 14.3% の割合で対数測が成立していた。図-3 は、北風時を 0°，南風時を 180°，西風時を 270° として表記した風況の時間変化を示す。黒丸がすべての観測データであり、このうち中立安定度だったときを緑色、さらに中立大気かつ対数測が成立していたときを赤色でプロットしている。北風時の大気で中立状態が続いているときに、対数則が成立しているようにも見えるが、既往研究⁴⁾の 63%に比べて本ケースでは全体的に成立割合が低い。この要因として、今回は風向の時間変化が大きく、非定常性の強い環境場であったことが考えられる。風洞実験では対数測が成立し、既往研究でも⁴⁾風がある程度の風速を持ち一定方向から連吹すると対数測分布が一定の形状になる傾向があることが示されていることから、今回の観測においては対数測の成立がしにくい状態であったと考える。

5. まとめ

地表面性状の影響を強く受ける大気下層の風環境の特性を把握する目的で対数則の成立割合の検討を行った。対数則の成立割合は北・南・西風時でそれぞれ 35.1%、26.9%、14.3%と極めて低い結果であった。これは、風向の時間変化が大きく、非定常性の強い環境場であったことが要因として考えられる。

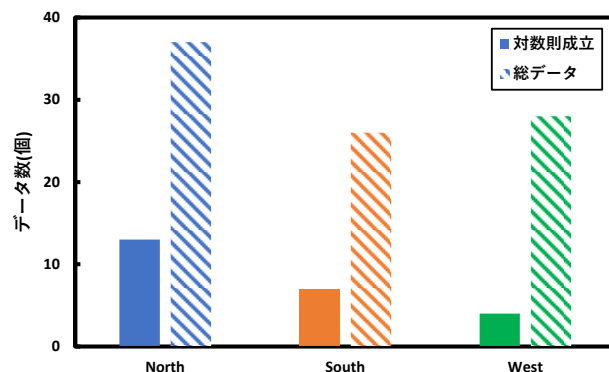


図-2 風向別対数則の成立

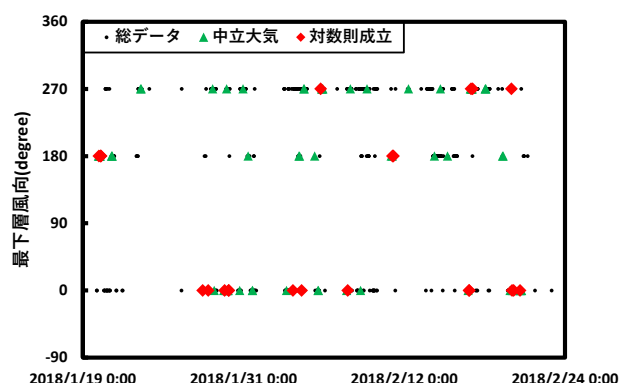


図-3 風向別対数則の成立

表-1 風向別ゼロ面変位・粗度長の値

	z0 (m)		d (m)	
	平均	標準偏差	平均	標準偏差
北	3.83	2.54	14.78	10.10
南	6.60	8.48	7.86	2.03
西	2.64	2.64	9.19	4.95

今後の展開として、中立時であっても安定寄り・不安定寄りでの傾向の相違や無次元風速と最下層風速との関係などについて確認する予定である。

謝辞

本研究は科学研究費補助金基盤研究(B)（課題番号：17H02964）の支援を受けました。また、本研究の実施にあたり気象庁気象研究所の清野直子氏に多大なるご協力をいただきました。記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 下重亮, 仲吉信人, 神田学 (2009): 都市の幾何形状と地形によって生じる海風の収束が夏季局地的豪雨発生に及ぼす影響, 水工学論文集第 53 巻, pp.277-282.
- 2) 田村哲郎, 武井泰之, 岸田岳人, 奥田恭雄, 溜正俊 (2008): 都市域での強風に関するメソ気象モデル・LES ハイブリッド解析, 第 20 回 風工学シンポジウム論文集, pp.1-6.
- 3) Hong Cheng and Ian P. Castro. (2002): Near Wall Flow over Urban-like Roughness, Boundary-Layer Meteor., 104, pp.229-259.
- 4) 白井健 (2018): 都市大気境界層における非定常な無次元風速の鉛直分布特性, 平成 29 年度千葉工業大学修士学位論文.
- 5) 気象庁月報: 2018 年 1 月, 2 月.