## 立正大学・熊谷キャンパスで観測されたストリーク構造の 出現特性について

矢野雄大\*渡来靖\*\*吉崎正憲\*\*

キーワード:ドップラーライダー,大気境界層,ストリーク構造

## 1. はじめに

気象学において風(風向・風速)は重要な観測項目で ある. 直接観測として,風圧を利用するダインス風向風 速計,風速を回転速度に変換するロビンソン風速計,超 音波によるドップラー効果を利用した超音波風速計など がある(岡本 1966,光田・水間 1964,真木・牧野 1982, 小野 2009).一方で,リモートセンシングにより上空や 遠方の風を観測する方法として,マイクロ波放射計や ドップラーレーダー,ドップラーライダー(以後,DL と略記)などがある(図1a).

DLとは、レーザー光を大気中に照射してエアロゾル (土壌粒子,海塩粒子,自動車や工場などから放出され る汚染粒子など)からの散乱光を受信し,発射光と散乱 光とのドップラーシフトによる周波数差からその移動速 度を求め、これを風速とみなし観測する装置である(図 1b).空気の流れ(対流・乱流)を可視・定量化するこ とができ、パイバル観測などと比べ,時間的・空間的に より高分解能でデータの取得が可能であり、気象学を含 む様々な分野で、大きな力を発揮することが期待されて いる (藤吉ほか 2005, 石井ほか 2005, 藤吉 2010).

DLを用いた研究として水谷ほか(2014)における 詳細なレビューでは,飛行機からの観測(Bibro et al. 1984)や地上からの観測(Fujiwara et al. 2011,後藤・ 大塚 2012)を挙げている.藤吉(2013)では,地上に 設置されたDLによる観測から,網目構造,ストリーク 構造,サーマル,内部重力波,ダストデビル,ダウン バースト,竜巻,海陸風といった大小様々なスケールの 現象を捉えた結果が示されている.その中でも,近年の リモートセンシングの発展に伴う観測的研究により,大 気境界層内の地表面近傍に出現する筋状の組織的乱流構 造である「ストリーク構造」の存在が明らかとなりその 理解が進んでいる.

ストリーク構造とは、流れ方向に長く伸び平均風速 より低速な低速ストリークと高速な高速ストリークが 交互に並んだ構造である(藤吉 2013).平均的な間隔が 数100m程度で地表付近(高度数100m以下)に存在する (山下・藤吉 2012).山下ほか(2006)では北海道大学 における観測により、強風時(地上風速5ms<sup>-1</sup>以上)で あればストリーク構造が出現することを見出した.



図1:(a)DL(光アンテナ装置)の写真,および(b)DL観測原理のイメージ図.光アンテナ装置(三角)から 発信されたレーザー光が,風に流されるエアロゾル(黒丸)に当たり,その散乱光を受信する.発信光と受信 光の周波数差から視線風速が求められる.

\* 立正大学大学院地球環境科学研究科

<sup>\*\*</sup> 立正大学地球環境科学部

ストリーク構造の時間帯別出現特性について,八木ほ か(2013)では,東京工業大学におけるDL観測で,対 象期間(2012年8月24日~2012年9月20日)の日中・夜間 ともにストリーク構造の出現を確認しており,夜間の大 気が安定している時に卓越していたと述べられている. 一方で,八木ほか(2014)では,東京工業大学における DL観測で,秋季(2012年9月25日~2012年10月20日)と 冬季(2012年12月1日~2013年1月10日)ともにストリー ク構造は時間帯によらず出現していた.また,解析対象 事例に対するストリーク構造の割合は64%であり,大気 境界層内の代表的な流れ場と言えると述べられている.

高咲ほか(2016)では、立正大学・熊谷キャンパスに おけるDL観測でストリーク構造を捉えた.しかし、ス トリーク構造発生に関するより詳細な実態等に関しては 今後の課題となっていた.一方で、西盛(2017)では、 2015年12月~2016年7月の8か月間の立正大学・熊谷キャ ンパスにおけるDL観測で、日中・夜間ともにストリー ク構造が発生していたことがわかった.

以上のように、国内におけるストリーク構造の観測的 研究は山下ほか(2006)や八木ほか(2013)など、北海 道大学(札幌市)や東京工業大学(目黒区)といった比 較的沿岸部付近における研究が多く、熊谷のような内陸 部における研究はほとんどない、そのため、ストリーク 構造の特徴を十分に理解するには様々な地域での調査を さらに進める必要がある.また,西盛(2017)では,八 木ほか(2013)や八木ほか(2014)のような季節ごとの 出現頻度に関しては議論されておらず、熊谷キャンパス におけるストリーク構造の季節変化については明らかで はない.これを理解することにより、季節ごとの差異に よっては,発生要因は同じなのかなど研究のさらなる 発展が見込まれる。また、各季節の日中と夜間での出現 頬度、すなわち日変化を把握することが重要である、ス トリーク構造の発生しやすい時間帯が明らかになること で、それを狙った観測が容易となり、ストリーク構造の 発生に至るまでの環境場の変化を捉えることが可能とな る。したがって季節変化や日変化の把握は、熊谷キャン パスにおけるストリーク構造の特徴および発生プロセス の理解に繋がる.

そこで、本研究では、立正大学・熊谷キャンパスにお けるDLで観測されたストリーク構造の季節変化や日変 化といった時間的特徴と、地上気象観測結果との比較に よりストリーク構造の出現特性を明らかにすることを目 的とする.

## 2. 対象地域・期間と使用データ

#### 2.1 対象地域と対象期間

対象地域は埼玉県北部の熊谷市にある立正大学・熊谷 キャンパスである(図2a).解析対象期間は,2015年6月 1日~7月27日,2015年11月1日~2016年7月28日までの約 11か月間である.2015年7月28日~10月31日は本研究とは 別の目的での観測が実施され観測設定が異なるため解析 対象期間から除いた.また,本研究では,夏季を2015年6 月~7月かつ2016年6月~7月,秋季を2015年11月,冬季を 2015年12月~2016年2月,春季を2016年3月~5月とした.

## 2.2 使用データ

本研究では、立正大学熊谷キャンパスで観測された DLの仰角0°(以後,el0)の視線風速および信号対雑音 比(SNR)データを用いた(詳細は2.3節に記す).ま た、近傍の地上観測値として立正大学気象観測露場の 降水量、および風向・風速(地上:5.0m)の10分値を 用いた.ただし、2016年5月24日11:10と5月25日11:50~ 12:20は露場のデータが欠測であったため、解析対象か ら除外した.

## 2.3 DLの設定と位置関係

本研究では、三菱電機株式会社製のコヒーレントドッ プラーライダー(型式:LR-S1D2GA)を2台用いた.1 台の測器によって水平方向に-90°から90°。鉛直方向に -5°から90°の範囲で走査できるので、1台を北北西向き (方位角約340°)に、もう1台を南南東向き(約160°)に 配置することで全方位をカバーした. DLは観測範囲60-630m, 視線方向の解像度30mに設定して, el0のPPI (Plan Position Indicator) 走査を約6分の時間間隔で実施した. PPI走査の駆動速度を6°/s. パルスヒット回数(インコ ヒーレント積分回数)を4000に設定し、走査方向の解 像度を約1.5°とした、PPI走査とは、仰角を固定し、方 位角方向にアンテナを回転させて観測する走査法であ る. これにより鉛直方向の風向・風速の平均値や, 視 線方向の面的な風速場の推定を行うことができる(豊 田ほか 2009). 図2(b) にDLの設置場所と観測範囲を示 す. DLの設置場所は立正大学熊谷キャンパス内学生寮 (ユニデンスB棟)屋上であり,屋上面の標高は100m である. また. 気象観測露場(標高55m)より45m高い 地点にある.学生寮から北西におよそ400m地点に露場 がある. DLの観測原理や風向決定法の詳細は高咲ほか (2016)を参照されたい.



図2:(a)立正大学・熊谷キャンパス(黄色)およびその周辺の地図.実線は主要道路を示す.(b)DLの設置場所(赤点) および周辺環境.主要なグラウンド(緑)と建物(黒)を実線,道路を二重実線で示す.DLからの水平距離 は200mごとに円(実線)で描いている.西南西-東北東に延びる点線はDLの測定範囲の境界を示し,点線 より北側の範囲と南側の範囲を測定する,計2台のDLによる同期観測結果を用いて解析する.



図3: DL画像分類説明図. カラーは, elOで観測されたDLの視線風速の水平分布を示す. DLの視線風速分布を目視により「判別不可」,「ストリーク構造」,「非ストリーク」に分類した.(a)判別不可(降水時),(b)ストリーク構造,(c)非ストリークの例を示す.

## 2.4 ストリーク構造発生事例の抽出方法

本研究では、約6分ごとにel0のPPI走査による視線風 速データが得られるように観測した.このデータを元 に、八木ほか(2014)の手法を参考に目視で、「判別不 可」、「ストリーク構造」、「非ストリーク」に分類した. 「判別不可」には、①DLのデータが取れていないなど描 画できなかった場合、②露場のデータにおいて降水が 確認された場合、③SNRが6dB以下の領域が観測範囲の 50%以上を占めた場合、の3つをまとめて分類した(図 3a).主風向に沿って視線風速分布が筋状になっている ものを「ストリーク構造」と分類した(図3b).これら に属さない(ストリーク構造は見られないが, 観測されている)ものを「非ストリーク」と分類した(図3c).

続いて、時間は日本時間として、各時間帯(毎正時か ら1時間区切り)に含まれる6分ごとの視線風速データの うち1回でも「ストリーク構造」を捉えた場合、その時 間帯を「ストリーク構造発生時」と定義し、1事例とカ ウントした.さらに、「ストリーク構造発生時」を除く 時間帯について、その時間帯に1回でも「非ストリーク」 が見られた場合を「非発生時」とした、「ストリーク構 造発生時」にも「非発生時」にも分類されない時間帯は 「その他」とした.

## 3. 結果

### 3.1 ストリーク構造の時間帯別発生頻度

2.4節で示した方法により抽出されたストリーク構 造について、時間帯ごとの発生頻度を調べた.対象期間 内におけるストリーク構造の全発生数は955回であった. 時間帯ごとの頻度分布を図4に示す.ストリーク構造は どの時間帯でも見られるが、特に16時から18時の時間帯 はいずれも80回以上と高頻度であり全体(955)の27% を占めていた.

また、季節別の特徴を検討した(図5).2015年6月~ 7月と2016年6月~7月の夏季(図5a)は、12時から21時 にかけて各月5回程度と頻繁に見られ、15時から17時に かけては10回以上と高頻度であった。2015年11月の秋 季(図5b)は11時から20時にかけては2回以上見られた。 2015年12月~2016年2月の冬季(図5c)は、日の出後頃 の7時から日の入頃の17時までの日中は各月4回以上見ら れた。2016年3月~5月の春季(図5d)は、7時から20時 にかけて各月4回以上見られ、16時から18時にかけては 10回以上と高頻度であった。夏季や春季における16~18 時の極大は、「ストリーク構造発生時」にストリーク構 造の有無が不明な「その他」を加えた事例数で見ても極 大となることから、ストリーク構造の頻出時間帯である ことは確かである.このことから、全対象期間における 時間帯別発生頻度を示した図4において高頻度であった 16時から18時にかけては、夏・春季の特徴を強く反映し ていると考えられる.

### 3.2 ストリーク構造発生時の露場の風向・風速分布

ストリーク構造発生時における露場の風向・風速分 布を図6に示す.ストリーク構造の発生時間帯について, 抽出期間内における露場の10分平均風向・風速(計5,730 個)を用いて,ストリーク構造発生時の地上風向・風速 の特徴を調査した.まず風向別の出現頻度を調べたとこ ろ,90°~180°の東~南方向(29.6%)と270°~360°の 西~北方向(52.3%)に多く分布していた.風速は東~ 南方向では0~3ms<sup>-1</sup>,西~北方向では0~5ms<sup>-1</sup>に概ね 含まれた.

また,季節別の特徴を検討した(図7).夏季(図7a) におけるストリーク構造発生時の風向は,風速0~3ms<sup>-1</sup> の東~南寄りの風が夏季全体(1,956個)の45.1%を占め 最も多く,次いで風速0~4ms<sup>-1</sup>の西~北寄りの風が全 体の31.8%であった.秋季(図7b)は,風速0~5ms<sup>-1</sup>の 西~北寄りの風が秋季全体(168個)の95.8%と,夏季と は異なり西~北寄りが高頻度であった.冬季(図7c)は, 風速0~5ms<sup>-1</sup>の西~北寄りの風が冬季全体(1,134個)

Total number of cases : 955



図4:ストリーク構造の時間帯別発生頻度.



図5:ストリーク構造の季節別時間帯別発生頻度. 左上から(a)夏季,(b)秋季,(c)冬季,(d)春季を示す.図右上の数字は各季節のデータ数を表す.



図6:ストリーク構造発生時の露場の風向・風速分布.



図7:ストリーク構造発生時における季節別の露場の風向・風速分布. 左上から(a)夏季,(b)秋季,(c)冬季,(d)春季を示す.図右上の数字は各季節のデータ数を表す.

の79.9%, 風速0~3ms<sup>-1</sup>の東~南寄りの風が全体の9.4%と, 秋季同様西~北寄りが高頻度であった.一方で, 春季 (図7d)は, 風速0~5ms<sup>-1</sup>の西~北寄りの風が春季全体 (2,472個)の52.8%, 風速0~3ms<sup>-1</sup>の東~南寄りの風が 全体の28.6%と, 秋・冬季と比べ東~南寄りが多くなっ た.

このように、熊谷においては四季を通して地上風向が 西〜北寄りのときにストリーク構造が発生することが多 かったが、夏・春季においては東〜南寄りの風でのスト リーク構造の発生も顕著であった、ストリーク構造の発 生と風向・風速には密接な関係があると思われるため、 以下で詳細に調べることとする。

# 3.3 「ストリーク構造発生時」・「非発生時とその他」 における風配図

露場の10分平均風向を用いた各季節における「スト リーク構造発生時」と「非発生時とその他」の風配図 を図8に示す.夏季(図8a)における「ストリーク構造 発生時」の風向は、16方位別では東が全体(1,956)の 18.0%で最も高い.東~南寄りの風向は全体の47.6%、

西~北寄りは34.3%だった.一方で、「非発生時とその 他」では、東が全体(14,604)の14.2%で最も高い、東~ 南寄りの風向は全体の39.3%,西~北寄りは27.1%だっ た.秋季(図8b)における「ストリーク構造発生時| の風向は、北西が全体(168)の57.7%で最も高い。西~ 北寄りの風向は全体の97.6%、東~南寄りは0.6%だっ た.一方で、「非発生時とその他」でも、西北西が全体 (4.152)の15.1%で最も高い. 西~北寄りの風向は全体 の44.6%、東~南寄りは21.6%だった. 冬季(図8c)に おける「ストリーク構造発生時」の風向は、北西が全 体(1,134)の38.8%で最も高い.西~北寄りの風向は全 体の81.6%、東~南寄りは11.0%だった、一方で、「非発 生時とその他」では、西北西が全体(11.970)の19.4% で最も高い. 西~北寄りの風向は全体の54.7%, 東~南 寄りは20.8%だった. 春季 (図8d) における 「ストリー ク構造発生時」の風向は、北西が全体(2,472)の23.3% で最も高い. 西~北寄りの風向は全体の54.7%、東~南 寄りは33.4%だった。一方で、「非発生時とその他」では、 西北西が全体(10,771)の10.6%で最も高い.西~北寄 りの風向は全体の34.6%、東~南寄りは33.6%だった.



図8:「ストリーク構造発生時」、「非発生時とその他」の風配図. 左上から(a)夏季、(b)秋季、(c)冬季、(d)春季を示し、赤字・赤線は「ストリーク構造発生時」、青 字・青線は「非発生時とその他」を示す.各右下の数字はその季節のデータ数を表す.

## 3.4 風速階級別ストリーク構造発生・非発生、その 他の発生率

露場の10分平均風速を用いた各季節における風速階級 別ストリーク構造発生・非発生、その他の発生率を図9 に示す.夏季(図9a)におけるストリーク構造発生率は、 地上風速1.6ms<sup>-1</sup>以上1.7ms<sup>-1</sup>未満の階級以下ではほと んど20%以下だった.しかし、1.7ms<sup>-1</sup>以上1.8ms<sup>-1</sup>未満 の階級以上では30%以上となり、2ms<sup>-1</sup>以上の階級では 50%以上だった.一方で、その他は全階級で40%程度で あった.秋季(図9b)におけるストリーク構造発生率 は、全体的に10%以下だった.しかし、地上風速1.6ms<sup>-1</sup> 以上1.7ms<sup>-1</sup>未満の階級以上の風速が強い階級では10~ 30%程度の発生率も見られた.一方で、その他は全階級 で60%を超えていた.夏季と比ベストリーク構造発生率 が低く、その他が多かった.しかし、その他には、スト リーク構造が発生していたが観測できていない場合も含 まれているため正確な発生率には注意が必要である.冬 季(図9c)におけるストリーク構造発生率は、地上風速 0.7ms<sup>-1</sup>以上0.8ms<sup>-1</sup>未満の階級以上で5%を超え、1.1ms<sup>-1</sup> 以上1.2ms<sup>-1</sup>未満の階級で10%以上、さらに1.5ms<sup>-1</sup>以上 1.6ms<sup>-1</sup>未満の階級では15%以上と風速が強くなるほど 発生率が大きくなった.一方で、その他は、1.3ms<sup>-1</sup>以 上1.4ms<sup>-1</sup>未満の階級以下では40%程度だったが、それ 以上では50%以上であった.春季(図9d)におけるス トリーク構造発生率は、地上風速0.4ms<sup>-1</sup>以上0.5ms<sup>-1</sup>未 満の階級以上で10%を超え、0.9ms<sup>-1</sup>以上1.0ms<sup>-1</sup>未満の 階級で20%以上、さらに1.7ms<sup>-1</sup>以上1.8ms<sup>-1</sup>未満の階級 では40%以上と風速が強くなるほど発生率が大きくなっ た.一方で、その他はいずれの階級でも20%程度であっ た.以上のことから、風速が大きくなるほど、ストリー ク構造発生率が増加していることがわかる.



図9:風速階級ごとのデータ数に対する各分類の風速階級ごとのデータ数割合. 左上から(a)夏季,(b)秋季,(c)冬季,(d)春季を示す.図右上の数字は各季節のデータ数を表す.

## 4. 議論

ここでは、夏・春季の16時から18時の時間帯にスト リーク構造が高頻度であった理由、立正大学・熊谷キャ ンパスにおけるストリーク構造の発生における風向・風 速の寄与、大気成層との関係、について議論する。

## 4.1 夏季・春季の午後におけるストリーク構造につ いて

図10(a) に, 露場の10分平均風向を用いた夏・春季に おけるストリーク構造発生時の時間帯別風向頻度を示す. 0~10時までは東~南寄りの風でのストリーク構造はほぼ 見られないが, 11時頃を境に増えはじめ14時には東南東 風や南風の増加が見られた. 17時頃にピークを迎え, 23 時頃にはほとんど見られない. 一方で, 秋・冬季におけ るストリーク構造発生時の時間帯別風向頻度を図10(b) に示す. 15~17時頃にかけて東~南寄りの風でのスト リーク構造がわずかに見られる程度で、夏・春季のよう な高頻度では見られない.一般的に埼玉県の風向特性と して、6月~8月に東から南東よりの相模湾系・鹿島灘系 の海風が卓越するとされている(埼玉県ホームページ). また、寝占ほか(2015)では、熊谷における海風進入時 刻は14時~15時前後であるとされている.そこで、寝占 ほか(2015)を参考に熊谷地方気象台のデータを用いて、 ①日照時間7時間以上、②天気概況で昼(0600~1800)に おいて降水・雷が無い、③日最大風速観測時の風向が東 ~南風、という3つの条件をすべて満たす日を海風日とし て抽出した.その結果、解析対象期間の春・夏季におけ る海風日は74日であり、海風日のうちストリーク構造発 生日は56日だった.よって、海風日に対するストリーク 構造発生日の割合は75.7%でおよそ8割であった.

したがって、夏・春季の午後に高頻度で見られるスト リーク構造には海風進入が大きく関係している可能性が ある.これは、小田ほか(2010)や藤吉ほか(2008)の



(a) は夏季と春季, (b) は秋季と冬季を合わせたものを示す. カラーは風向を表す.

海風進入時や海風影響下でストリーク構造が存在したという報告とも整合性がある.しかし,上述のように海風日のストリーク構造出現率は高い一方で,非海風日におけるストリーク構造出現日も存在する.また,本研究ではストリーク構造発生頻度の日変化の統計的特徴から海風の寄与を示唆したに過ぎず,海風の進入とストリーク構造の形成を個々の事例について調査したわけではない. 熊谷におけるストリーク構造の形成に海風がどれだけ寄与しているかについては,さらなる調査が必要である.

# 4.2 ストリーク構造発生時における風向・風速について

各季節の風配図(図8)によると、春季における「ス トリーク構造発生時」・「非発生時とその他」の風向はと もに西~北寄りが多い.夏季における「ストリーク構造 発生時」・「非発生時とその他」の風向はともに東~南寄 りが多い.秋・冬季における「ストリーク構造発生時」・ 「非発生時とその他」の風向はともに西~北寄りが多い. このことから、ストリーク構造発生時の風向には季節変 化が見られるが、「非発生時とその他」における季節変 化と大きな違いは見られなかった.したがって、スト リーク構造発生時の風向に見られた季節変化は、熊谷に おける風向の気候学的な特徴によるところが大きく、ス トリーク構造の発生には風向は関係しないと思われる.

一方で、風速については、地上風速が大きくなるほ ど、ストリーク構造の発生率が増加する傾向があること がわかった、そこで、その他を除いたストリーク構造発 生時と非発生時の階級別出現率に着目し、季節ごとに ストリーク構造発生時の出現頻度が非発生時の出現頻 度を上回る最小の風速階級を調べた、その結果、夏季 では1.7ms<sup>-1</sup>以上1.8ms<sup>-1</sup>未満の階級,秋季1.6ms<sup>-1</sup>以上 1.7ms<sup>-1</sup>未満の階級,冬季1.8ms<sup>-1</sup>以上1.9ms<sup>-1</sup>未満の階 級,春季1.7ms<sup>-1</sup>以上1.8ms<sup>-1</sup>未満の階級となり,熊谷 における本稿の結果からは地上風速1.7ms<sup>-1</sup>程度を境に してストリーク構造発生数が非発生数を超えることが わかった.

札幌におけるDL観測結果から、山下ほか(2006)で はストリーク構造の発生する地上風速が5ms<sup>-1</sup>以上であ るとしたが、地上風とした札幌管区気象台の風速計の設 置高度は地上59.5mであり、本稿で用いた露場の地上風 観測高度(地上5.0m)とは観測高度が大きく異なるため、 単純な比較はできない、そこで、中立成層を仮定し、次 式を用いて風速を推定する。

$$U_{\rm B} = U_{\rm A} \times \frac{\ln(z_{\rm B}/z_0)}{\ln(z_{\rm A}/z_0)} \tag{1}$$

ここで、 $Z_{B}$ は基準高度、 $U_{B}$ は基準高度における風速、 $Z_{0}$ は地表面粗度、 $Z_{A}$ は風速計高度、 $U_{A}$ はその高度におけ る風速の観測値である(近藤 2000).  $Z_{B}$ は札幌管区気 象台風速計の高度59.5m、 $Z_{A}$ は露場の風速計の高度5.0m、  $U_{A}$ は風速1.7ms<sup>-1</sup>とした.また、桑形・近藤(1990)よ り熊谷地方気象台の地表面粗度は1m前後であったので  $Z_{0}$ は1.0mとした.これから、 $U_{B}$ は4.3ms<sup>-1</sup>であったので、 山下ほか(2006)で示されたストリーク構造発生閾値で ある地上風速5ms<sup>-1</sup>に近い.したがって、立正大学・熊 谷キャンパスにおける露場の地上風速が1.7ms<sup>-1</sup>を超え るとストリーク構造の出現が卓越するとした本研究の結 果は、山下ほか(2006)の観測結果と整合性がある.

#### 4.3 大気成層との関係

本論文では、ストリーク構造の発生に関して地上風と

の関係のみを調べた.しかし、ストリーク構造の形成に は、地上付近の大気成層の寄与も重要であると考えられ る.晴天日の日中は、日射による地表面加熱により混 合層が発達する. それに伴って運動量が下向きに運ば れ、地上付近の風速は正午過ぎから夕方にかけて強くな る. 一方、Asai (1970) によると、太陽の加熱により大 気下層が熱的に不安定となる条件下で鉛直シアーのある 風が吹くとき、流れに平行な2次元ロール(Longitudinal mode, L型)が卓越する.地上風速は大気下層の鉛直 シアーの大きさに比例するので、本研究で示された地上 風速が大きいほどストリーク構造の発生率が高いという 関係(図9)は、日中のストリーク構造がL型の2次元 ロールであることを示唆する.一方,夜間は大気下層の 成層状態が安定となるため、地上風速は強くなりにく い. したがって、日中に多く夜間に少ないストリーク構 造発生頻度の日変化の特徴は、地上付近の風速の日変化 に従っているとも考えられる.本研究の結果は、少ない ながらも夜間にストリーク構造が発生していることを示 しているが、Asai (1970) によれば安定成層内では対 流の走向がシアーの方向に直交するT型(Transverse mode)の2次元ロールになるとしており、日中と夜間で はストリーク構造の形成機構が異なる可能性がある. 夜 間におけるストリーク構造の形成機構や日中と夜間の違 い等に関しては、さらに解析が必要である.

## 5. まとめ

解析対象期間(2015年6月~7月, 2015年11月~2016年 7月)の立正大学・熊谷キャンパスにおいて観測されたス トリーク構造の時間的特徴および出現特性について調査 した.ストリーク構造はどの時間帯でも発生し得ること が本研究でも示された.ストリーク構造発生時の風向別 頻度は観測点の気候学的な風配図の特徴と類似しており、 ストリーク構造発生の風向依存性は見られなかった. 熊 谷では、西~北寄りの風向時にストリーク構造が四季を 通じて発生する一方で, 春季と夏季においては東~南寄 りの風向時に発生するストリーク構造が多く見られ、午 後に高頻度であった.これは、相模湾系もしくは鹿島灘 系の海風進入に伴うものであると考えられるが、海風と ストリーク構造との関係を明らかにするにはさらなる研 究が必要である.また、ストリーク構造の発生は風速に 大きく依存しており、本研究の結果では地上高5.0mの風 速が1.7ms<sup>-1</sup>を超えるとストリーク構造の発生率が50%を 超えた.この結果は山下ほか(2006)と整合的である.

## 謝辞

匿名査読者には原稿改良に大変有益なコメントを頂い た.記して深謝の意を表します.

## 参考文献

- Asai, T., 1970: Three-dimensional features of thermal convection in a plane Couette flow. J. Meteor. Soc. Japan, 48, 18-29.
- Bilbro, J. W., G. Fichtl, D. Fitzjarrald, M. Krause and R. Lee, 1984: Airborne Doppler lidar wind field measurements. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 65, 348-359.
- Fujiwara, C., K. Yamashita, M. Nakanishi and Y. Fujiyoshi, 2011: Dust devil-like vortices in an urban area detected by a 3-D scanning Doppler lidar. *J. Appl. Meteor. Climatology*, **50**, 534-547.
- 藤吉康志,2010:見えないものを観る,掴めないものを掴む 最新観測技術-風の流れと雲-.第44回夏季大学,https:// www.metsoc.jp/kyoikuhukyu/resume/2010/Fujiyoshi.pdf (2020.12.07閲覧).
- 藤吉康志,2013:ドップラーライダーによる流れの観測と物 質輸送.ながれ、32,301-306.
- 藤吉康志,山下和也,藤原忠誠,2005:3次元走査型コヒー レントドップラーライダーによる大気境界層の流れの可視 化.天気,52,665-666.
- 藤吉康志,山下和也,藤原忠誠,中西幹郎,2008:ラージ・ エディ・シミュレーションの気象への応用と検証.気象研 究ノート(藤吉康志編集),(219),141-165.
- 後藤暁, 大塚清敏, 2012:小型ドップラーライダー観測に基 づく東京上空の風の鉛直分布特性. 風工学シンポジウム論 文集, 22, 7-12.
- 石井昌憲,水谷耕平,青木哲郎,佐々木華織,菅野洋光,岩 崎俊樹,余偉明,松島大,野田暁,沢田雅洋,氏家将志, 松浦陽介,2005:コヒーレントドップラーライダーによる 清川ダシ観測.天気,52,329-330.
- 近藤純正,2000:地表面に近い大気の科学 理解と応用.東 京大学出版会,324pp.
- 桑形恒男,近藤純正,1990:東北南部から中部地方までのア メダス地点における地表面粗度の推定.天気,37,55-59.
- 真木太一,牧野勤倹,1982:風速,風向の測定法(2).農 業氣象,**374**,339-341.
- 光田寧,水間満郎,1964:超音波風速計とその試作.天気, 11,33-40.
- 水谷耕平,石井昌憲,森一正,藤吉康志,藤原忠誠,2014: 高層気象観測の発展と現状.気象研究ノート(水野量・上 窪哲郎・定村努編集),(229),83-122.
- 寝占祐太,神田学,仲吉信人,2015:東京-熊谷間における 夏期東京湾海風進入時間の長期年代変化,土木学会論文集 B1 (水工学),**71**,403-408.

西盛努,2017:ドップラーライダと数値予報モデルによる立

正大学・熊谷キャンパス周辺の環境場調査,立正大学地球 環境科学部環境システム学科平成28年度卒業論文,63pp.

- 小田僚子,岩井宏徳,村山泰啓,石井昌憲,水谷耕平,板部 敏和,常松展充,山田泉,又吉直樹,松島大,余偉明,山 崎剛,岩崎俊樹,2010:ドップラーライダーを用いた内部 境界層内乱流構造の水平分布形状に関する観測研究.水工 学論文集,54,277-282.
- 岡本雅典, 1966:超音波風速・温度計により測定された乱れ の顕熱フラックス. 天気, 13, 367-368.
- 小野木茂, 2009: 地上風の測器. 日本風工学会誌, 34, 314-321.
- 高咲良規, 吉崎正憲, 渡来靖, 中川清隆, 蓜島徹也, 武井祐 興, 2016:立正大学・熊谷キャンパスにおけるドップラー
- ライダによる水平風の観測.地球環境研究, 18, 49-55. 豊田康嗣,中屋耕,橋本篤,松宮央登,田中伸和, 2009: ドップラーライダを用いた風速観測手法についての検討. 電力中央研究報告, N08032, 32pp.

- 八木綾子,有場次郎,稲垣厚至,神田学,藤原忠誠,藤吉康 志,2013:ドップラーライダーによる都市上空の流れの分 類.土木学会論文集B1(水工学),69,1753-1758.
- 八木綾子, 稲垣厚至, 神田学, 藤原忠誠, 藤吉康志, 2014: 相似則に基づいた大気層における水平乱流場の分類. 土木 学会論文集B1(水工学), **70**, 325-330.
- 八木綾子,稲垣厚至,神田学,藤原忠誠,藤吉康志,2015: ドップラーライダーを用いた筋状乱流構造の間隔に関する 研究.土木学会論文集B1(水工学),**71**,415-420.
- 山下和也,藤原忠誠,藤吉康志,2006:コヒーレントドップ ラーライダーを用いた大気境界層の縞状気流構造の研究. 日本気象学会春季大会講演予稿集,**89**,183. https://dl.ndl. go.jp/view/download/digidepo\_10591587\_po\_ART0009419145. pdf?contentNo=1&alternativeNo=(2020.12.07閲覧).
- 山下和也,藤吉康志,2012:ドップラーライダーで観測した 大気境界層のストリーク気流構造の特性. レーザセンシン グシンポジウム予稿集,**30**,18-21.

## Characteristics of streak structure appearance observed at Kumagaya Campus of Rissho University

YANO Yudai\*, WATARAI Yasushi\*\*, YOSHIZAKI Masanori\*\*

\* Graduate School of Geo-Environmental Science, Rissho University \*\* Faculty of Geo-Environmental Science, Rissho University

## Abstract :

We investigated the temporal variation of streak structure observed at Kumagaya Campus of Rissho University as well as its association with background winds. The streak structure was observed at any time of day and season. Direction of background winds during the appearance of streak structure exhibited a strong association with the seasonal change of wind direction. In spring and summer, streak structures with wind directions from east to south were frequently observed, which is thought to be associated with the invasion of sea breeze from the Sagami Bay system of the Kashima Nada system. The appearance of the streak structure largely depends on the wind speed, but not related to the wind direction.

Key words : Doppler lidar, atmospheric boundary layer, streak structure