

## (II-56) 現地観測に基づく植生場の乱流構造と熱・運動量輸送に関する研究

東京工業大学大学院理工学研究科土木工学専攻 学生会員 山田 知裕  
東京工業大学工学部土木工学科 フェロー会員 池田 駿介  
建設省土木研究所 正 会員 館 健一郎

植生場に発生する特有な乱流構造と、それに伴う熱・運動量輸送を調べるため多摩川河口部に広がるアシ原において現地観測を行った。その結果、温度変動において、風速変動のスイープ運動とイジェクション運動に伴うランプ現象が見られ、熱と運動量の輸送が関係づけられた。また、温度変動と風速変動には若干のタイムラグがあり、4象限解析においてひずみが現れることがわかった。

### 1. 序論

可撓性を有する植生場においては、「穂波」と呼ばれる特徴的な現象が発生する。これは、植生層上を風が吹くと周期的な組織渦が発生し、その通過により植生の変形があたかも波のように風下へと伝播する現象であり、稲田、麦畑、アシ原、森林等においてよくみられる。周期的な組織渦の発生は、植生層の境界に流速の変曲点が存在することに起因する変曲点不安定によっており<sup>1)</sup>、この組織渦が植生層内外の運動量・熱・物質の交換に大きく寄与していると考えられている。

本研究では、アシ原での現地観測により、植生層内外の乱流構造と運動量・顕熱の輸送の把握を試みた。

### 2. 観測の概要

観測地点は東京都大田区羽田の多摩川河口部右岸に広がるアシ原であり、広さは東西に約500m、南北に約200mである。観測当日(1995.8.7)の風向は南北方向に卓越していた。アシの平均高さは、静止した状態で2.2~2.6m程度であった。アシ原のほぼ中央部に半径5m程度の円形に刈り込んだ観測地を設定した。

観測地に樁を組み、その上に日射計2台、赤外放射計、放射収支計を設置し、下向き日射、上向き日射、下向き長波放射、放射収支を測定した。高さ9mのポールに風速計、温湿度計を取り付け、風速、温度、湿度の鉛直分布(1分平均)を測定した。風速3成分及び気温の変動を1台の超音波風速温度計(カイジョー社製、WA(T)-395型)で測定した。この測定高さは2.6m、測定周波数は本測定装置の性能上8Hzである。

### 3. 放射量及び各種フラックスの測定時間中の変化

Fig. 1(a)に渦相関法により求めた運動量フラックスの12時~17時30分の間の変化を示す。Fig. 1(b)にポールに設置した三杯式風速計で測定した高さ8.5mでの風速、超音波風速計で測定した高さ2.6mでの風速の時間変化を示す。大きな運動量フラックスが発生している時刻付近に、風速に極大点が見られる。

Fig. 2(a)に渦相関法により求めた顕熱フラックスの12時~17時30分の間の変化を示す。顕熱フラックスは午後次第に減少しており、Fig. 1(b)の風速の絶対値とは対応が見られない。Fig. 2(b)に日射量の時間変化を示す。Fig. 2(a)、(b)では極大、極小をとる時刻がよく対応している。

### 4. 特徴的温度変動と組織渦、各種フラックスの関係

Fig. 3に13時34~35分のアシ頂部の位置での温度変動を示す。矢印は周期的な変動の極大点を示しており、ゆっくりとした上昇とその後の急激な下降(ランプ現象<sup>2)</sup>)が見られる。そこで、植生層上の乱流の組織構造をより明確に捉えるため、特徴的と判断された10数個のランプ現象部分を抽出し、アンサンブル平均操作を行った。この平均操作により、小スケールの乱れが取り除かれ、ランプ現象発生時の平均像を得ることができる。その結果をFig. 4に示す(図中、~はアンサンブル平均を示す)。Fig. 4(c)の気温変動には徐々に上昇し、渦の通過とともに急激に降下するランプ現象が明確に現れており、その上昇がイジェクション( $w' < 0$ ,  $w' > 0$ )、下降がスイープ( $w' > 0$ ,  $w' < 0$ )に対応している。また、運動量、顕熱輸送ともにランプ現象の急勾配前後でピークをとっている。

### 5. 4象限解析

植生層上の乱流構造をより詳しくみるために、変動成分の4象限解析をおこなった。Fig. 5(a)~(c)はそれぞれ水平風速変動と鉛直風速変動、水平風速変動と気温変動、鉛直風速変動

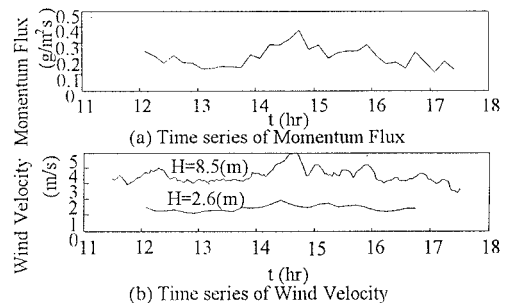


Fig.1 Time Series of Momentum Flux and Wind Velocity

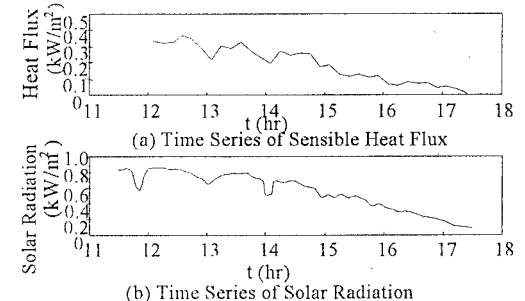


Fig.2 Time Series of Sensible Heat Flux and Solar Radiation

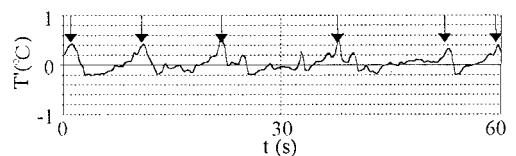


Fig.3 Temperature Fluctuation

動と気温変動の相関を表している。それぞれの図は $u'$ ,  $w'$ 及び $T'$ の符号に応じて4つの象限に分け、超音波風速温度計により測定した8Hz毎のデータを0.1(m/s), 0.1(°C)の間隔内に含まれるデータ数を等高図に表したものであり、図の作成においては12時~17時までの144000個のデータを用いた。Fig. 5(a)をみると、第2, 4象限の密度が高くなっており、水平風速変動と鉛直風速変動には負の相関があることが分かる。この相関の分布はすなわち正のレイノルズ応力の発生を意味している。また、第2象限(イジェクション)は発生頻度は高いが相関の大きさは小さく、第4象限(スウィープ)は発生頻度は小さいが大きさは大きいことが分かる。

またFig. 5(b), (c)の水平方向風速変動と気温変動、鉛直方向風速変動と気温変動の相関をみると、それぞれ負の相関、正の相関があることが分かる。しかし、ともに気温変動の絶対値の大きい部分が歪んでいる。この部分は温度急降下直前の頂点部に対応し、気温は依然として非常に高いのに風速は既にイジェクションからスウィープへ移行しているという位相の若干のずれがこのような歪みの原因となっている。

### 6. 風速変動スペクトルと周期渦の発生周期

Fig. 6に超音波風速計で測定した高さ2.6mでの主風速変動からFFT(高速フーリエ変換)により求めた風速スペクトルを示す。用いたデータは13時30分から約17分間(データ数8192)である。0.2Hz以上の高周波域ではKolmogorovの $-5/3$ 乗則に一致している。スペクトルのピークの位置は0.04~0.1Hz(周期25~10秒)周辺にある。

Ho & Huerre<sup>3)</sup>によると、流速分布に変曲点に有するせん断流れにおいて最大発達率を示す周波数 $f$ は

$$\frac{f\theta}{U_m} = 0.032$$

で求められる。ここに、 $\theta$ は流速分布の持つ運動量厚さ、 $U_m$ はせん断層上下2境界における流速の平均値である。上式に13時30分の測定値( $\theta=1.05m$ ,  $U_m=1.71m/s$ )を代入した結果、卓越周波数(周期)は0.052Hz(19.1秒)となった。観測結果による組織渦の発生周期と比較するとオーダー的に一致しており、このアシ原で発生した穂波の成因が変曲点不安定による組織渦の通過であることが確認できる。

### 7. 結論

以下に本論文の主要な結論を述べる。

- 1) 温度変動でのランプ現象が確認でき、この現象は一組のスウィープとイジェクションに対応している。また、このときに顕熱輸送、運動量輸送が大きくなる。
- 2) 水平方向、鉛直方向風速変動には負の相関がみられ、スウィープ運動は強いが頻度は小さく、イジェクション運動は弱いが頻度は高い。
- 3) 温度変動には水平方向、鉛直方向風速変動との相関があるが、若干の位相の遅れがあり、4象限解析において歪みがみられる。

### 参考文献

- 1) 池田駿介, 館健一郎: 土木学会論文集, 539(1996)43.
- 2) Gao, W., Shaw, R. H. and Pawu, K. T.: Boundary-Layer Meteorology, 47(1989)349.
- 3) Ho, C. M. and Huerre, P.: Ann. Rev. Fluid Mech. 16(1984)365.

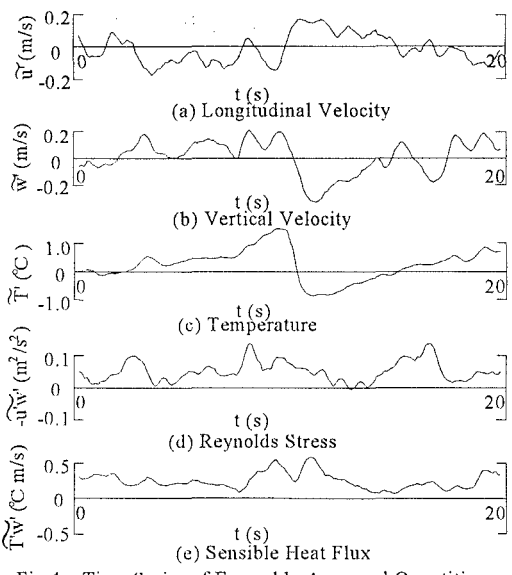


Fig. 4 Time Series of Ensemble-Averaged Quantities

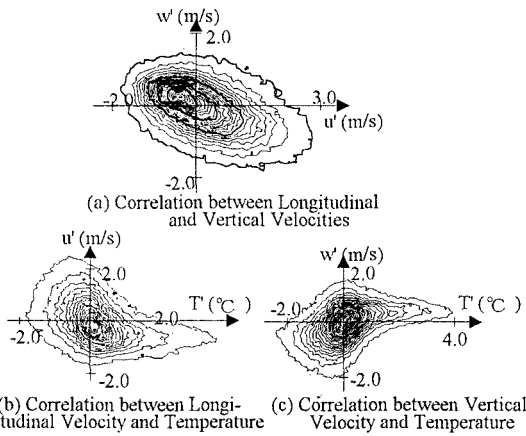


Fig. 5 Correlations

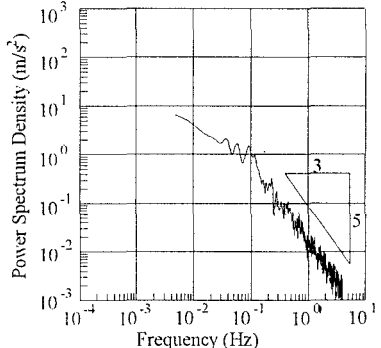


Fig. 6 Power Spectrum Density of  $u'$