

## 2次元歪センサーを利用した 穂揺れの測定

### Measurement of Waving Barley Using Two Dimensional Strain Sensor

林 陽生\*

Yousay HAYASHI

#### I はじめに

植物群落は風に対して柔軟な特性をもっている。植物体が風の運動エネルギーを吸収して揺れたりなびいたりする現象が、植被面を通したガスフラックスに対してどのような影響を及ぼしているかを知る事は花粉、孢子等の拡散を考える上で興味ある。

群落の揺れ現象の中で、最も特徴的なものは穂波である。穂波は、群落とその直上を吹く気流の相互作用が植被面で可視化されたものである。穂波に関する研究は、井上ほか(1955)等によって進められた。彼等は、穂波発生時の稲群落のステール写真を示し、植被面付近の高度では数メートル程度の広がりをもつ乱れが存在することを述べている。さらに井上(1955)は、1本の穂の揺れを穂揺れ、群落全体に発生する組織的揺れを穂波と呼び、両者の発生機構が異なることを示唆している。これ等の研究成果の上にたち、Finnigan and Mulhearn (1978 a) は大麦群落に発生した穂波の8 mm 画像を解析し、穂波の移動速度、周期を求めた。

以上の研究は野外観測結果から導かれたものであるが、Finnigan and Mulhearn (1978 b) や林(1986)は、植物群落模型を使った風洞実験をおこなった。これによると、植被の固有振動数が群落と

気流の相互作用に関して主要なパラメーターとなることが示されている。すなわち、群落の物理性が穂波の特徴を支配することを示している。一方、揺れのエネルギーのソースである風は、群落とは別に固有な時間、空間スケールをもっている。

本論は、これまであまり言及されていない点、すなわち群落固有の物理性によって起る揺れと風の乱流構造固有の空気力学的特性によって発生する揺れを分離する点について研究を進めるための基礎として、2次元歪センサーを製作して揺れの連続観測をおこなった結果につき報告する。

#### II 測定および解析

##### 1) 観測方法

農業環境技術研究所内の大麦(天城二条)圃場で観測をおこなった。圃場の大きさは南北80 m 東西25 m で、巾6 m の道路を隔てて南および東側のほぼ100 m には同様の麦が植えられていた。畝の向きは南北で、畝間は60 cm であった。観測は1986年5月8日から13日の間、気層の安定度の効果を除くため曇りの日中あるいは夕方から夜間にかけて実施した(第1表)。1回のRunはほぼ25分間で、合計7回おこなった。各Runの主風向は6回が南~南南西、1回が東であった。観測期間中の成育状

\* 農業環境技術研究所

第1表 測定の概要。

	月 日	測定開始時刻	超音波風速計 計測成分
Run A	5月 8日	14:45	東西
Run B	5月 8日	18:30	東西
Run C	5月 8日	19:30	東西
Run D	5月 9日	10:20	東西
Run E	5月 9日	10:50	鉛直
Run F	5月 9日	11:20	鉛直
Run G	5月 13日	15:20	鉛直



第1図 大麦圃場の概観。

況を第1図に示す。平均群落高は5月9日に120 cmであった。

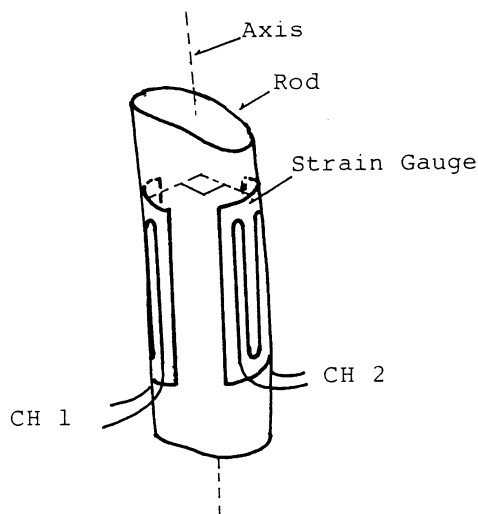
地表面上125 cmの高度に1次元超音波風速温度計(海上電気, DAT-300)および3杯型風速計(牧野応用測器, AF 750 S)を、175 cmの高度に矢羽式風向計(牧野応用測器, VF 016)を設置した。超音波風速計はRunにより鉛直および水平方向に向きを変えて測定した。3杯風速計の出力は、数秒程度の平均値である。本研究ではこの値をそのまま平均風速として取り扱った。

超音波風速計の感部直下の大麦の茎に、2次元歪センサーを取り付けた。計測器からの信号をデータレコーダー(ソニー, FE 39 A)に記録し、その後各種統計処理をおこなった。

## 2) 2次元歪センサー

これまで、歪みゲージを用いた植物の揺れの計測は、佐藤ほか(1980)等によっておこなわれてきている。本研究は、水平面内の揺れを計測する目的

で、第2図に示すセンサーを製作した。直径3 mm、長さ50 cmのプラスチック棒の軸に沿い直交する2面に、ベース巾1.5 mm、長さ5 mmの歪みゲージ(120 Ω)を張つけた。張つけた位置は、棒の下端から20 cmとした。製作したセンサーの下部14 cmを大麦の根元の地中に差込み、上端を茎に固定した。大麦に比べて、センサーは充分柔軟であると考えられるため、特にフレキシビリティの変化に起因する補正は考慮しないこととした。歪みゲージを張つけた2方向を、畝と45度の角度になるようにして設置した。

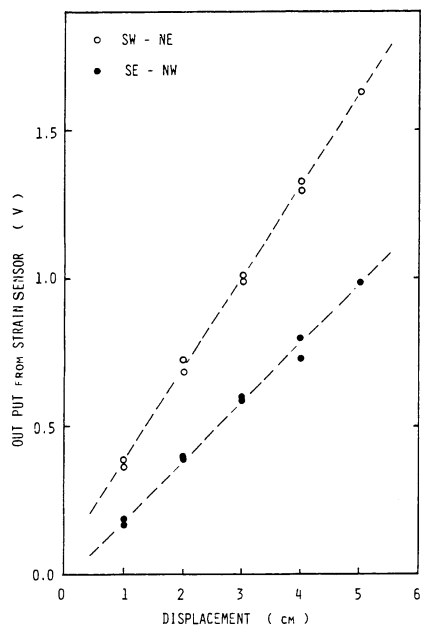


第2図 2次元歪センサーの概様。

第3図に、センサーの上端(地上36 cm)の水平変位に対する出力特性を示す。いずれも増幅した後の関係を示しているが、比較的良好な直線関係のあることがわかる。なお、穂の高度での変位は第3図に示した地上36 cmの変位のほぼ5倍となった。

観測期間中の主風向は畝に平行な方向(Run A~Run F)、またはこれと直交する方向(Run G)であった。このことから、計測した変位を上述の直交座標上の変位に座標変換して以後の解析をおこなった。

特にRun C, Run Dについて初歩的な解析をおこなった結果につき以下に述べる。



第3図 歪センサーの出力特性。  
○はSW-NE, ●はSE-NW成分の出力を示す。

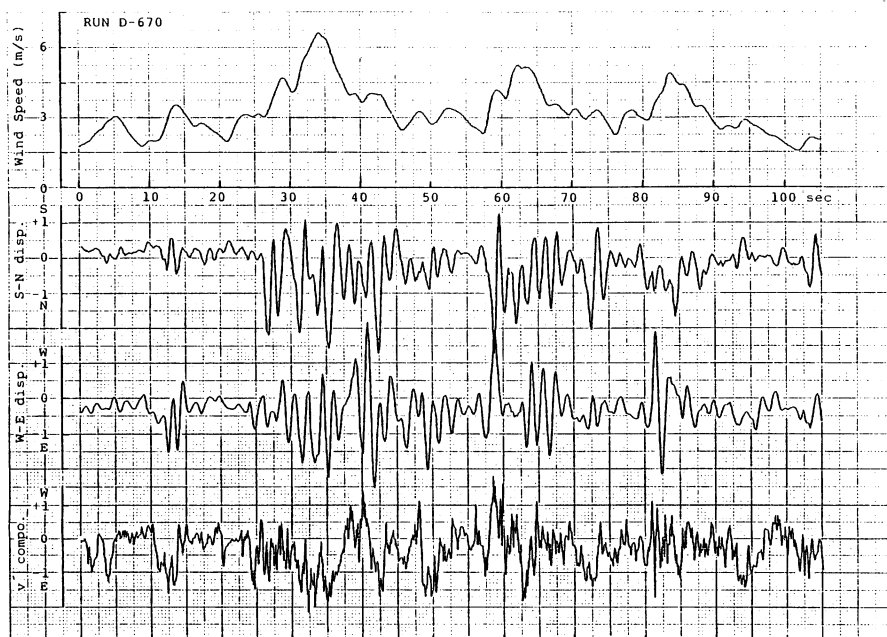
### III 測定結果

#### 1) 主風向とこれに直交する成分の揺れの特徴

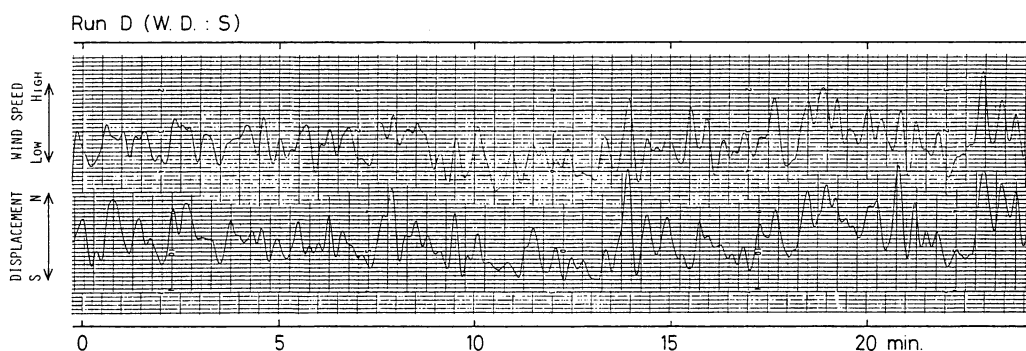
測定結果の一例 (Run D) を第4図に示す。上段より、3杯風速計による平均風速 ( $u$ )、主風向成分の変位 ( $D_{SN}$ )、これと直交する成分の変位 ( $D_{EW}$ )、主風向と直交する成分の風速微変動 ( $v$ ) の各100秒間の変動を示す。

平均風速と変位の変動から次の特徴が明らかである。平均風速がほぼ  $3 \text{ ms}^{-1}$  以上になると変位の振幅が増大する。これは、顕著な穂波が発生したことを示している。主風向成分の変位  $D_{SN}$  は、振幅増大とともに平均値がマイナス側、すなわち風下側に移動することがわかる。図の例では、25秒から90秒にかけて約25秒間隔でこの現象が起っている。一方  $D_{EW}$  は、平均値を中心にして  $D_{SN}$  と同程度あるいはそれ以上の振幅で変動している。

超音波風速計で測定した風速微変動  $v$  と  $D_{EW}$  を比較すると、測定対象の現象にスケールの違いがあるものの、ほぼ平行して変動していることがわか



第4図 測定結果の例 (Run D)。  
上から平均風速、南北成分の変位、東西成分の変位、東西成分の風速変動を示す。



第5図 ローパスフィルターをかけた場合の風速と主風向に沿った変位の  
変動 (Run D)。上段は平均風速、下段は変位を示す。

る。すなわち、東側への変位と瞬間的な東成分の風が、あるいはその逆が、対応している。

## 2) 揺れと風速の時系列変動

第4図の  $D_{SN}$  についてみると、第一に約 0.6 Hz の変動が目につく。次に、平均風速の変動に呼応した周期 20~30 秒の変動があることがわかる。前者は群落固有の特性に、後者は風の乱流構造に特徴づけられる変動と考えられる。そこで、特に後者に注目する目的で、 $D_{SN}$  と  $u$  の変動に 0.05 Hz のローパスフィルターをかけて両者の時間変化を比較した。結果の一例 (Run D) を第5図に示す。縦軸は任意の目盛で、上段は  $u$ 、下段は  $D_{SN}$  である。ここで、 $D_{SN}$  の符号は第4図と逆になっており、プラスは北側 (風下側) に変位した場合を示す。記録用紙の縦線は 30 秒を示す。

これによると、両者の変動の間には極めて高い正の相関関係が認められる。 $D_{SN}$ 、 $u$  とともに約 30 秒の変動が卓越しており、これがさらに長周期の変動に重なっている。

## 3) 水平面上の変位と風速

水平面上の変位は、2成分の変位を合成することによって求めることができる。10~30 秒間の平均風速が異なる 6 ケースについて、平面変位の軌跡を X-Y プロッターで描いた例 (Run C) を第6図に示す。いずれの場合も主風向は図の右上から左下に向かう方向である。

図より、平均風速増大とともに変位の規模が大き

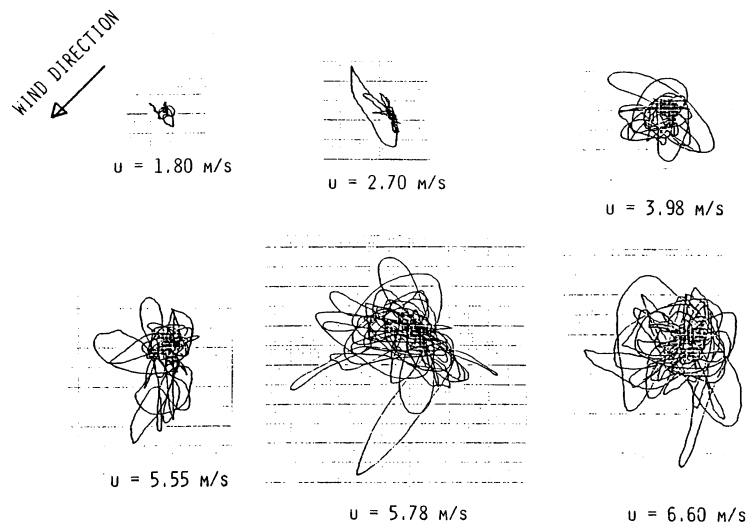
くなる様子がわかる。2.7  $\text{ms}^{-1}$  以下ではほとんど揺れておらず、最も揺れの規模が卓越するのは平均風速 5~6  $\text{ms}^{-1}$  の場合である。これ以上の風速では、揺れはそれほど大きくなる。風下側へ変位する場合に、畝の直上に変位せずその両側へずれる傾向が現われている。これは、5.78  $\text{ms}^{-1}$  の場合に顕著である。

## IV まとめ

群落には固有振動など固有の物理性がある一方、気流中にも地被の粗度や風速そのものによってきまる固有の乱流構造がある。群落と気流の相互作用の結果発生する穂波は、これ等の周期性を持つ多様なスケールの現象の影響を受ける。

これより、穂揺れの連続記録をおこない、変位量の変動に対する特徴的な調波の寄与率を調べることによって、穂波の特性を知ることができると考えられる。そこで本論では、技術的段階として 2次元歪みセンサーを製作し、大麦群落で穂の揺れを測定することを試みた。2次元変位を合成して水平面上の変位を求めた結果、平均風速増大とともに約 0.6 Hz の揺れ振幅が大きくなることがわかった。また、揺れと風速の変動に 0.05 Hz のローパスフィルターをかけ、長周期の変動成分を抽出した結果、両者の変動の間に高い相関関係が認められ約 30 秒周期の変動が卓越する様子が明らかになった。

観測結果に現われた約 0.6 Hz の変動は群落の固



第6図 平面上の変位と平均風速 (Run C)。

有振動に対応すると思われる。また、風の息が穂波発生を制御していると考えられるが、これは0.05 Hz以下の変動に対応していると推測される。

### 謝 辞

圃場整備をして頂いた農業環境技術研究所業務科の方々に感謝致します。また、観測に際しさまざまな便宜をはかって頂いた、筑波大学地球科学系古藤田一雄教授に感謝致します。

### 引用文献

井上栄一 (1955) : 穂波の研究 1. 穂波の機構と特性。

農業気象, 11, 18-22.

井上栄一・谷 信輝・今井和彦 (1955) : 耕地風の乱れの測定. 農業技術研究所報告, A-4号, 1-36.

林 陽生 (1986) : 群落モデルの風洞実験, 昭和61年度日本農業気象学会講演要旨, 196-197.

佐藤 勉・米谷俊彦・大滝英治 (1980) : 歪計による植物体の揺れの測定. 農業気象, 36, 103-107.

Finnigan, J. J. and Mulhearn, P. J. (1978a) : Modeling waving crops in a wind tunnel. *Bound. Layer Met.*, 14, 253-277.

Finnigan, J. J. and Mulhearn, P. J. (1978b) : A simple mathematical model of airflow in waving plant canopies. *Bound. Layer Met.*, 14, 415-431.