

No. 5

2次元後流の中の乱雑化の実験

佐藤 浩、斎藤博之助、中村 宏（ながれ研究集団）

Experiments on the randomization in a two-dimensional wake

H.Sato, H.Saito and H.Nakamura

Institute of Flow Research

ABSTRACT

A two-dimensional wake was formed behind a fine-mesh screens placed perpendicular to the uniform flow, The transition process in the wake was observed by a hot-wire anemometer. The starting period of the process is the linear growth of small-amplitude velocity fluctuations. The period is followed by the nonlinear interaction between various spectral components. The last and the most important stage is the randomization of periodical fluctuation. The quantitative description of the randomness was tried by the use of amplitude and wave length of randomized velocity fluctuations.

Key Words: wake transition, randomization

0. はしがき

層流から乱流への遷移についての研究は数え切れなし程の数ですが、乱流が作られる最も基本的な、乱雑化については殆ど分かっていません。我々は2次元後流の中で色々な波形を持つ、規則正しい速度変動が乱雑になっていく過程を観察しました。そして乱雑化の過程を定量的に記述する方法を探しました。

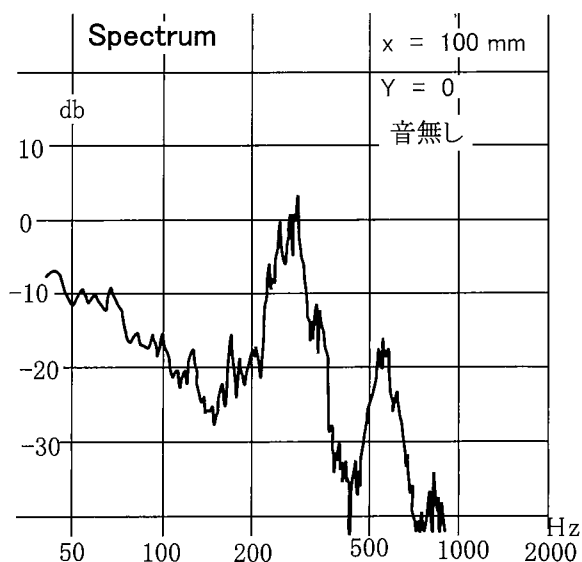
1. 実験技術

実験は測定部の断面が25 cm x 25 cm、長さが50 cmほどの吹き出し型風洞の中で行われました。一様流の風速はすべて4 m/sです。流れに直角に40メッシュで、巾4 mmの短冊形の金網を張り、その下流に作られた後流の中で実験しました。外部に置かれたスピーカーから色々な音を測定部に送り、それによって誘起される速度変動を熱線風速計で測定し、適当なデータ処理を行いました。

乱雑化を定量的に扱うために、熱線からの出力波形を統計的に処理する方法を探しました。

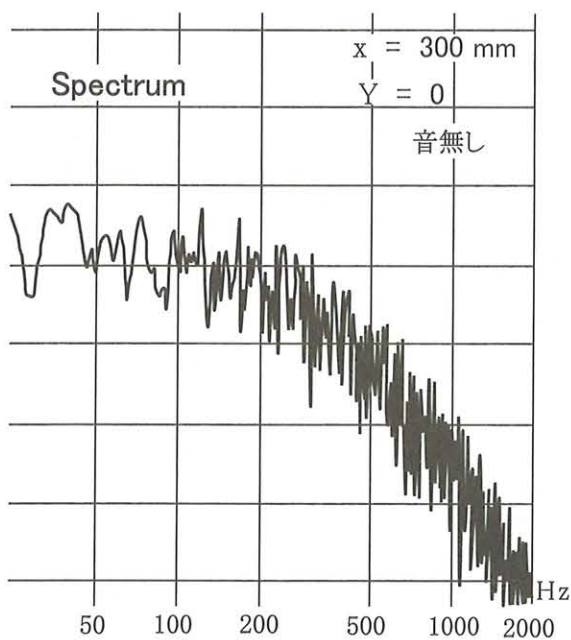
2. 自然遷移

積極的に外から音を送らなくても、網で作られる弱い速度変動と、そこらにある音で作られる弱い速度変動が線型領域で成長し、下流になると乱れらしくなります。これを自然遷移と呼びます。線型成長域は周波数を選びますから、スペクトルを測ると山と谷が現れます。

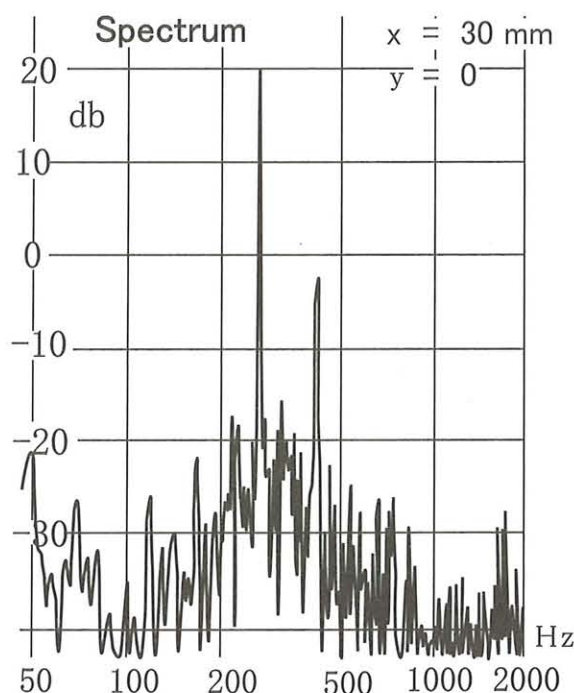


第1図

第1図はスペクトルで、300 Hz付近の基本波と、その高調波がはっきりと分かります。それらは乱雑で、線スペクトルではありません。帯スペクトルとでも呼ばれるものでしょう。Xが大きくなると第2図に示したように、スペクトルには山と谷が無くなって、なだらかな連続スペクトルになります。音はこのような流れ場に重畳されるので、外部から導入された音だけの影響を分離することは出来ません。



第2図



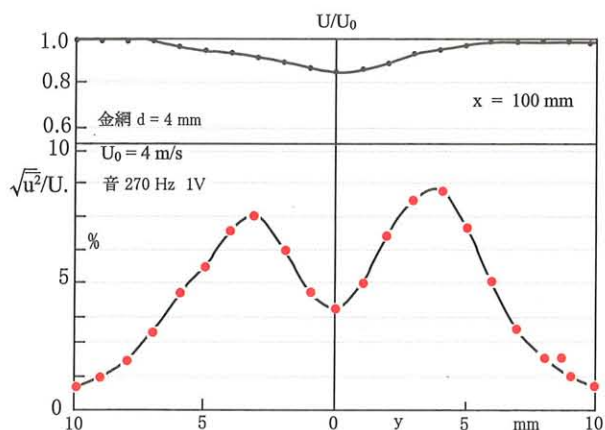
第4図

2. 単音実験

第1図で分かるように、線型領域で最大の成長率を持つのは、ほぼ270 Hzです。そこでその周波数の音を外部から送り込むことにしました。これを単音実験と称します。音の強さはスピーカー入力を1 Vにとりました。この強さを少し変えても結果に影響はありません。速度変動の強さの分布の例を第3図に示しました。

Xの小さいところでのスペクトルが第4図です。音の270 Hzと、その高調波が断然強いのが分かります。下流に行くにつれてこの針のような線スペクトルは小さくなり、やがて第2図のようになります。

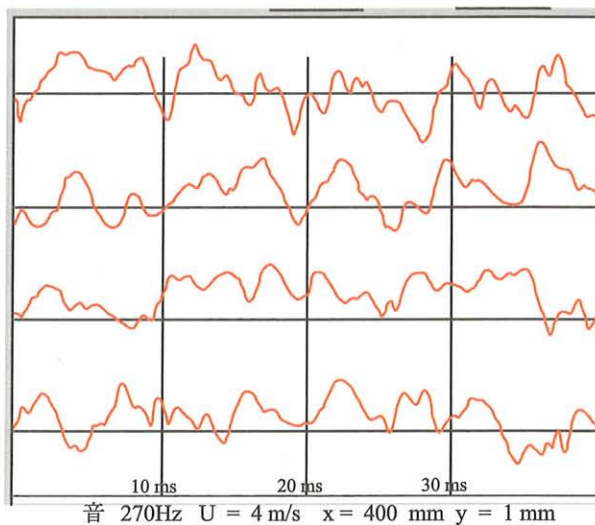
X = 400 mmでの速度変動野波形は第5図のようです。これで十分に発達した乱流後流です。



第3図

変動の rms は最大で8%を超えており、音の無いときに比べると1.5倍ほどです。山が2つ有るのは、2次元後流の特徴です。

変動強さは流れ方向に線型域でX = 80 mmあたりまで成長し、あとは非線型干渉で、段々に弱くなり、乱雑化します。



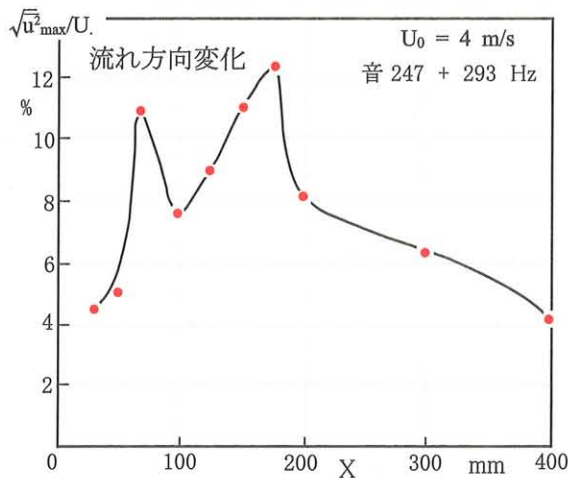
第5図

3. 複音実験

音を2つにしてみました。音は270 Hzを挟んで、247 Hzと293 Hzに選びました。非線型干渉で差の46 Hzの発生が期待されま

す。

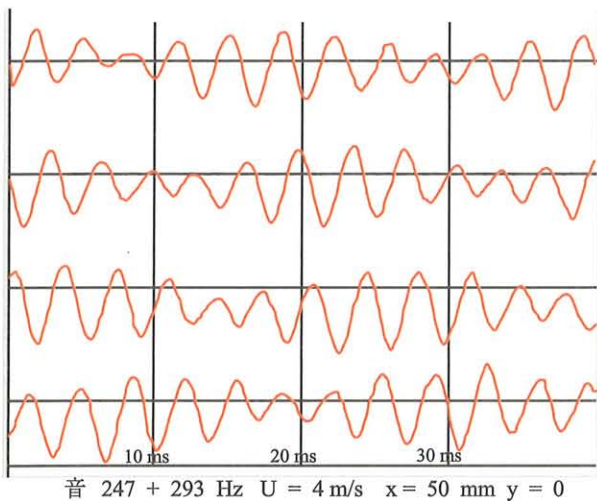
速度変動の強さの流れ方向の変化を示したのが第6図です。X = 80 mmあたりで最大値になり、100 mmあたりから再び増加して次の最大値に張るといふ、やや異常な分布になって



第6図

います。この第2の山は2つの音の差成分46 Hz、の発生、成長によることが分かりました。

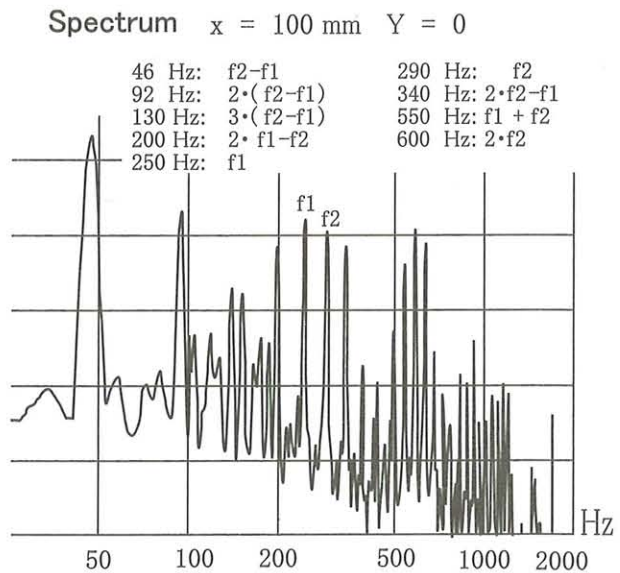
Xが小さいところの速度変動の波形を第7図に示しました。これは唸りを持つ音の波形を正確に再現しています。いわば完璧な秩序です。



第7図

スペクトルもそれに相当したものになっています。しかし下流に行くにつれて波形もスペクトルも変わってきます。

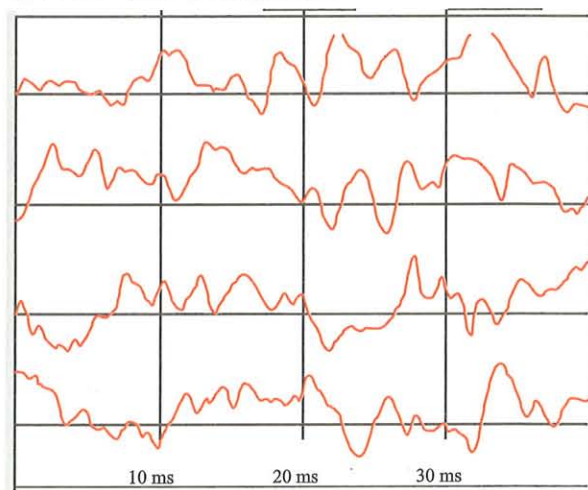
第8図はX = 100 mmでのスペクトルで、沢山の線スペクトルが現れています。それらは基礎になる2つの成分の組み合わせとして同定出来ます。その一部分を図の上の方に入れておきました。Xがもっと大きくなると、線スペクトルの数はどんどん増えて、殆ど埋め尽くすほどになります。



第8図

ここで一つ深刻な疑問が現れます。それは、線スペクトルの数が十分に多くなればそれが流が発達した乱流になったと言えるのか、というものです。もしそうなら、連続スペクトルの持つ意味が無くなります。実験ではその違いを明らかにすることは出来ません。この問題は将来の考察にゆだねます。

下流の方の変動波形を第9図に示しました。このX = 400 mmの場所では乱れは十分に発達しているように見えます



第9図

4. 乱雑化の定量表現

速度変動が規則正しい正弦波から始まって下流に行くに従って、乱雑化する過程を何とか数量的に表現することは出来ないでしょうか。それが出来なければ、乱雑という概念は美しさとか、好ましさというような、自然科学にはなじ

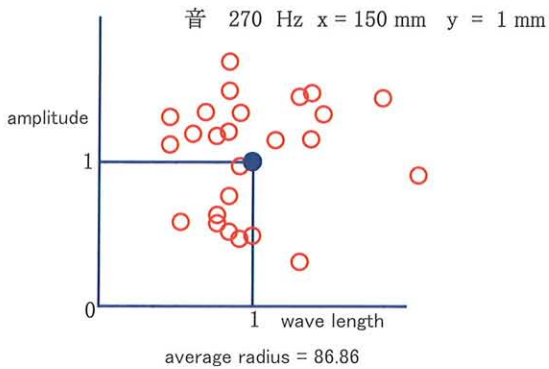
まないものになってしまいます。第9図の波形が第7図に比べて乱雑だということに異を唱える人はありません。しかしそれではどれほど乱雑なのかという問いに答えられる人はありません。

そこで我々は波形を分析して”乱雑度”とも言える量を取り出す試みをしました。

波形を特徴づける物は波の波長と振幅です。そこでそれらを波形から取り出してみることになりました。

波長も振幅も色々な値を取ります。それらをそれらの平均で割って波長-振幅座標の中にプロットします。そして、それらと平均値との距離の平均で乱雑度を表現するのです。一例を示しましょう。

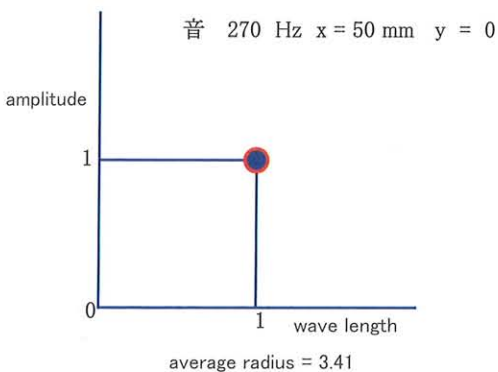
第10図は単音で、 $X = 150 \text{ mm}$ 、 $Y = 1 \text{ mm}$ のときの例です。横軸が波長で、縦軸が振幅です。1と1の交点の黒い●は平均値を表し number of waves = 26



第10図

ます。周囲に散らばっている○は各個の波長と振幅を表しています。この例では波の数は28個です。●を中心として、○までの距離を測り、それらの値の平均を取った物が乱雑度です。

number of waves = 23

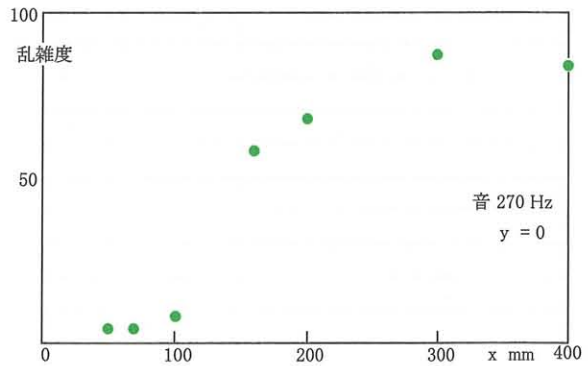


第11図

第11図は単音で、 X の小さいときのもので、波形は殆ど綺麗な正弦波ですから、○はすべて

が●の上に重なってしまい、距離はゼロになっています。この状態は乱雑度が殆どゼロです。

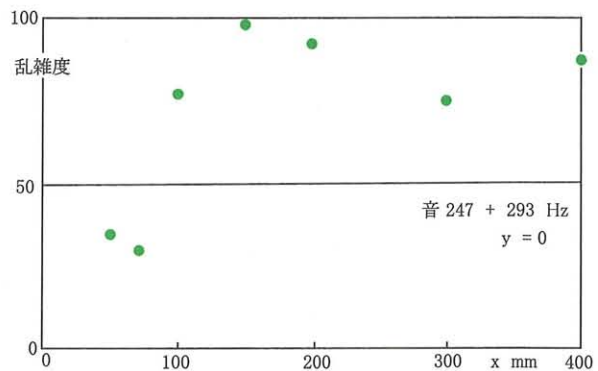
このような試みをすべての波形について試み、乱雑度の流れ方向への変化を見たのが第12図です。 $y = 0$ の点ばかりを集めました。 X が



第12図

小さい所から乱雑度が段々大きくなっていくのがはっきりと表されています。 $X = 300 \text{ mm}$ あたりから乱雑度は飽和して、それ以上の値は取らないことも示されました。

同じことを複音の場合にも試みました。それが第13図です。点が散らばっていますが、第12図と似た様な傾向を示しています。



第13図

この2つの図とも、縦軸は任意日盛りです。

5. まとめ

一般的な乱雑化について次のような考え方を得ました。

1. 乱雑化の”種”はそこら中に漂っている。
2. 好ましい環境が与えられると、種は芽となる。
3. 快適な環境と、十分な栄養が与えられると、芽は成長する。
4. 非線形干渉で乱雑度はさらに成長する。
5. 成長は飽和して、乱雑化は終わる。