

No. 16

2次元後流乱雑化の微細構造

佐藤 浩 斉藤博之助 中村 宏（流れ研究集団）

Detailed structure of the randomizing process in a two-dimensional wake

Hiroshi Sato, Hironosuke Saito and Hiroshi Nakamura

Institute of Flow Research

ABSTRACT

An experiment was made in the wake behind a strip of screen in the uniform flow. The wake was excited by various kinds of sound introduced from a loudspeaker. One purpose is to compare the turbulent wakes created by various sounds. The close similarity was found. Another accomplishment is the quantitative expression of randomness of randomizing wakes. The random components in the randomizing process were also clarified.

Key Words : 2D wake randomizing process

0. はしがき

一様流の中に流れに垂直に置かれた金網の層流後流がどの様に乱雑化して、乱流後流を形成するかの過程について詳しく実験しました。その中に3つの重要な目標を設定しました。

○ 初期条件として外から与えられる色々な音に応じて、どのように乱雑化するのかを明らかにする。そして出来上がった乱流の共通点と相違点を明らかにする。

○ 秩序からのずれとしての乱雑の度合い—乱雑度の定量的な表現法を探す。

○ 乱雑化の微細構造を明らかにするために、簡単な数学モデルで実験結果を模擬する。

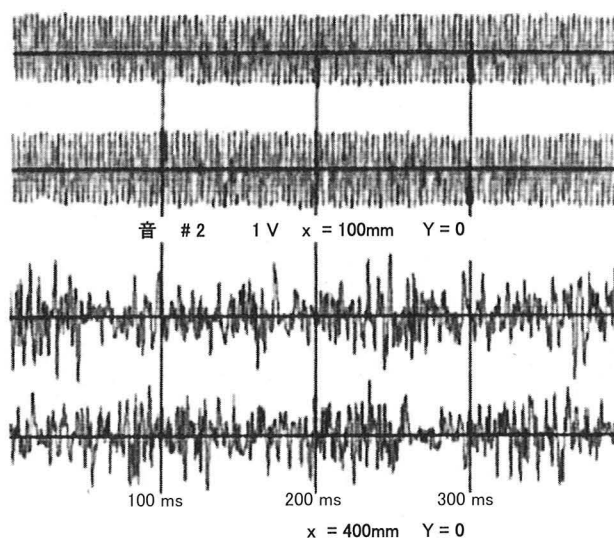
1. 音の種類と乱雑化過程

実験は測定部断面が25cm x 25cm、長さが50cmほどの低乱風洞で行われました。後流を作るのは巾4cmの網で、メッシュは40です。風速は4m/sの一定です。

音の種類

#0	無音
#1	ピンクノイズ
#2	270Hz 断続
#3	270Hz AM 43Hz 30%
#4	270Hz AM 43Hz 90%
#5	247Hz+293Hz
#6	270Hz 連続

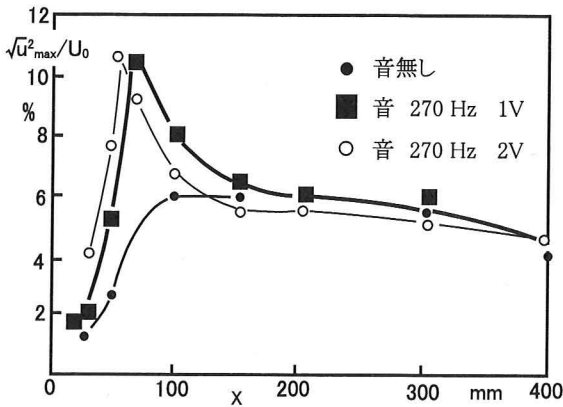
使われた#0から#6の7種類の音を表に示します。スピーカーから音を送らなくても、実験室には色々な音が充ち満ちています。特に大きいのはファンを駆動するモーターの音です。無音としているのはそれらのバックグラウンドノイズを含んでいます。完全な無音の環境では後流が乱流にならないのかも知れませんが、それは誰にも検証することは出来ないでしょう。



第1図 波形

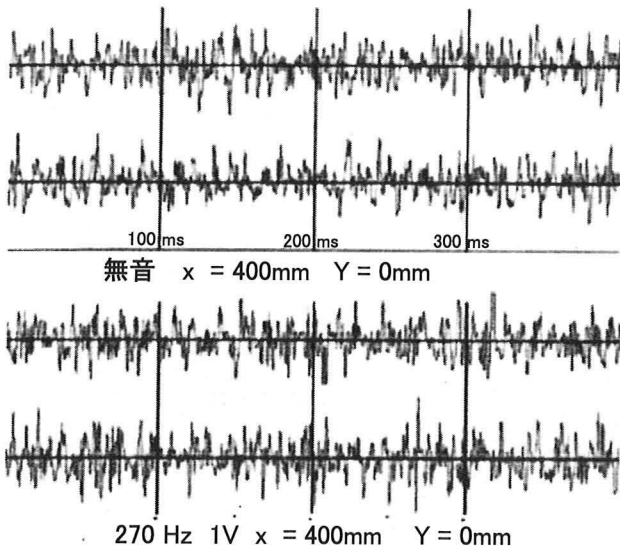
第1図は#2という音を使った時の速度変動の波形です。x=100mmの時は殆ど正確な正弦波で、確かな秩序です。それに比べてx=400mmではほぼ完全な乱流になっています。そのことはスペクトルの測定からも分かります。乱雑化はこの2つのXの間で起きているのです。このこ

とは他の音でも似たような経過を示します。これを見ると、乱雑の度合いは秩序からの距離で表現出来ることが分かります。



第2図 流れ方向変化

音の波形や強さを変えて実験しました。第2図は音270Hz単音(#6)で、あるx断面で、Y方向に最大値の速度変動の強さを流れ方向にプロットしたものです。音の強さなどによって、X=100mmあたりまでは違いがありますが、それより下流ではほぼ揃っています。この範囲が乱雑化の進行する範囲です。他の条件でもこの事は定性的には変わりません。



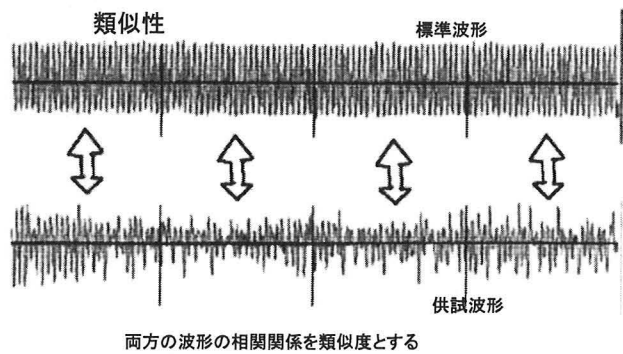
第3図 乱流波形の比較。

第3図を見ると無音と#6ともに、x=400mmあたりでほぼ発達した乱流になっていることが分かります。無音と270Hzの音で波形を見ると、殆ど同じように見えます。他の同じような比較でもこのことが確認されています。またエネルギースペクトルも色々な音には無関係に同じような形になっています。このことは、十分に発達した乱流はどれも同じだという、漠とした信仰に

合致します。

2. 類似度と秩序度

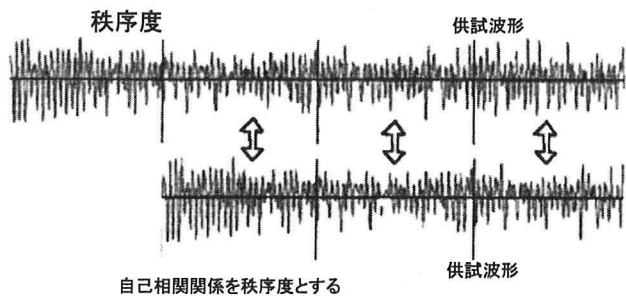
速度変動の波形が下流方向へどの様に変化するかを見るために類似度を定義します。それを実行するのが第4図です。すなわち、上欄の上流での波形を標準波形として、それを適当に分割して、下欄の供試波形との相互相関係数を求め、幾つかの相関係数の平均を類似度とします。これは簡単なプログラムで実行出来ます。2つの波形が完全に類似ならば1という値をとり、全然関係がなければ、0となる筈です。これが乱雑化過程でどの



第4図 類似度の定義

様な波形に変わっていくかということを示します。

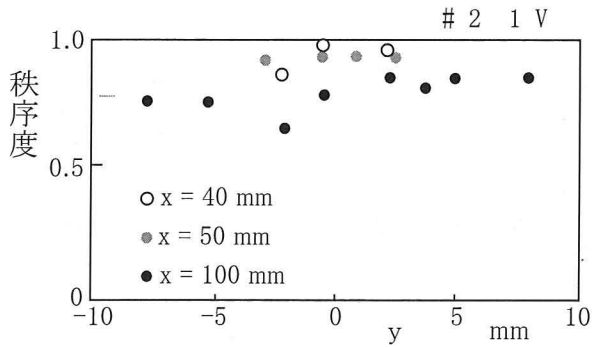
また秩序がどのように乱れたかを表す秩序度は第5図のように定義されます。即ち、適当な時間だけずらした自己相関係数です。位相の関係を見るために、秩序度が最大になるように、少しのずれを調節します。これも信号が正弦波という完全な秩序を保っていれば、自己相関係数は1となり、逆に完全に乱雑であればほとんどゼロになるはず。1から秩序度を差し引いたものを乱雑度と定義しても良いでしょう。これで歴史上初めて乱雑さの定量的表現が得られたこととなります。



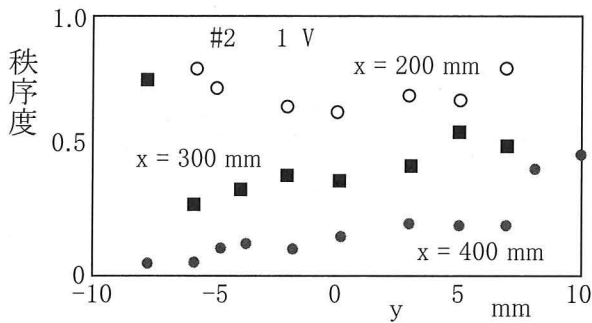
第5図 秩序度の定義

第6図は#2という音で、3つのxで計算された秩序度の分布を示しています。点が散っているのが気になりますが、このような乱雑化の経過で秩序度がはっきりしない事が本質的なのかも知

れません。ただしこのことは将来もっと詳しく調べる必要があります。



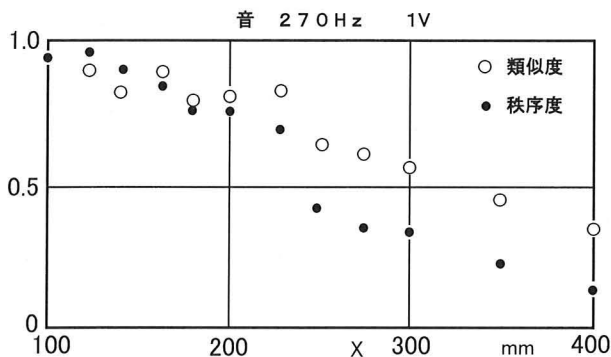
第6図 秩序度の分布 1



第7図 秩序度の分布 2

第7図はもっと大きなXでの秩序度のY分布です。秩序度が小さくなっていることを示しています。

第8図は秩序度の流れ方向の変化の有様を示しています。x = 100 mmあたりから400 mm



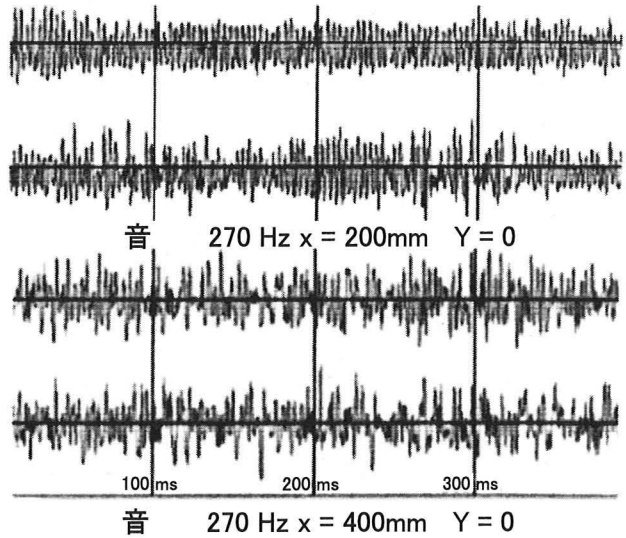
第8図 類似度と秩序度の流れ方向変化 Y=0
 までで秩序度が減少して、乱雑度が緩やかに増大することがはっきりと分かります。やはり点が散らばっていますが、これは第6図と同じ、乱雑化の気まぐれによると思われる。

3. 速度変動の姿

速度変動の姿をもっとも良く表現するのが波形です。これは色々な統計量の組み合わせよりも、

もっと直接に我々に訴えます。人を表現するのに、背の高さとか、体重、鼻の高さなどの百万のデータよりも、一枚の写真の方がずっと的確なのと似ています。

我々は一度に画像情報を受け取り、一瞬のうちにそれを認識します。そして、この波形がどのような構造に出来上がったのかを調べ、それを簡単な数学モデルで近似できる方法を探してみます。



第9図 X = 200 mm と X = 400 mm

第9図は x = 200 mm と x = 400 mm の波形の比較です。上の図では音の 270 Hz が少し乱雑化している感じですが、下の x = 400 mm では 270 Hz 成分の面影はほとんど無く、完全に乱流になっているのが分かります。明らかに乱雑度が増えているのが波形から分かります。

このような波形の変化を模擬するようなプログラムを作りました。

for i = 1 to ma

pb(i) = qm * sin(6.28 * 270 * i) ' 基礎波

pb(i) = pb(i) * (1 + qa * sin(6.28 * 45 * i)) ' 乗算項

pb(i) = pb(i) + qb * sin(6.28 * 45 * i + qc) ' 加算項

next i

第10図 波形作成プログラム

第10図はその一つです。分かりやすいように単純化してありますので、プログラムそのものではありません。for と next の間の第1行は 270 Hz 成分を表現します。その振幅を表すのが qm という係数です。

第2行は非線型干渉の2次、乗算項で、基礎波を振幅変調した形になっています。qa が変調度です。

第3行は加算という1次の項です。振幅と位相角に qb と qc という係数が掛かっています。

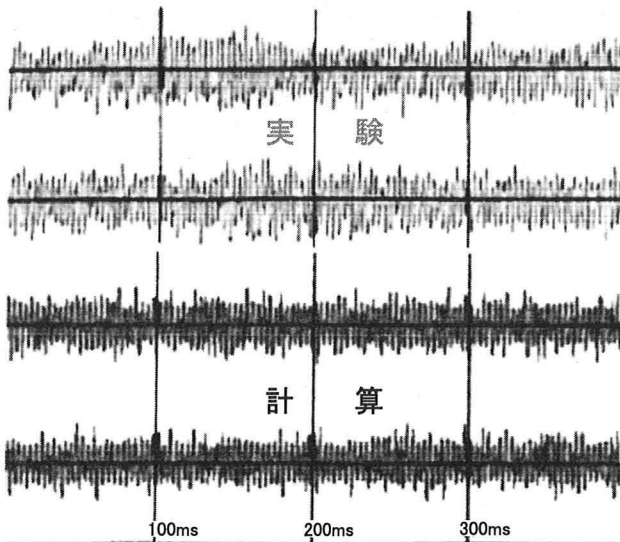
係数の変化

□ 乱数

X mm	100	140	200	300	400
q m	2000	1800	800	200	100
qa	0	1	3	20	40
qb	0	1	5	60	80
qc	0	1	20	20	80

第11図 流れ方向への係数の変化

第11図は流れ方向の距離、Xが100mmから400mm迄変わった時に、4つの係数をどのように選べば実験で得られた波形を模擬することが出来るかということ調べたものです。q mは常数で、流れ方向へ烈しく減少しています。q a、q b、q cという係数は乱数を含んでいます。



270 Hz X = 140mm Y = 0

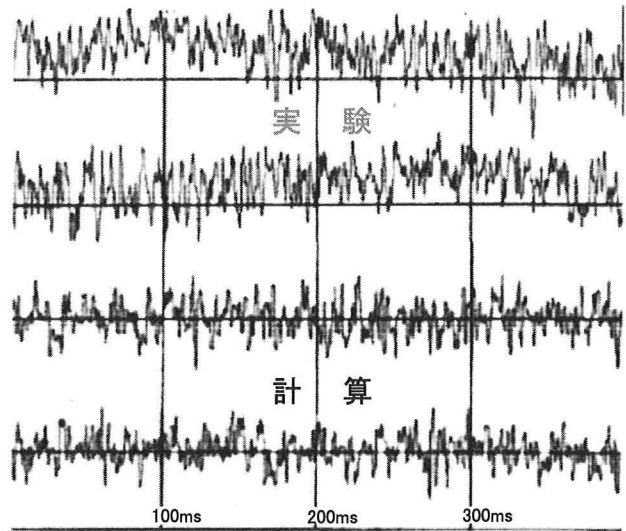
第12図 波形比較

係数を適当にとって実験と計算の波形を比べたのが第12図と第13図です。乱雑度が小さいとき、乱雑化の進んだ13図を見るとこの計算のスキームが適当なことが分かります。

4. 乱雑変動の潜入

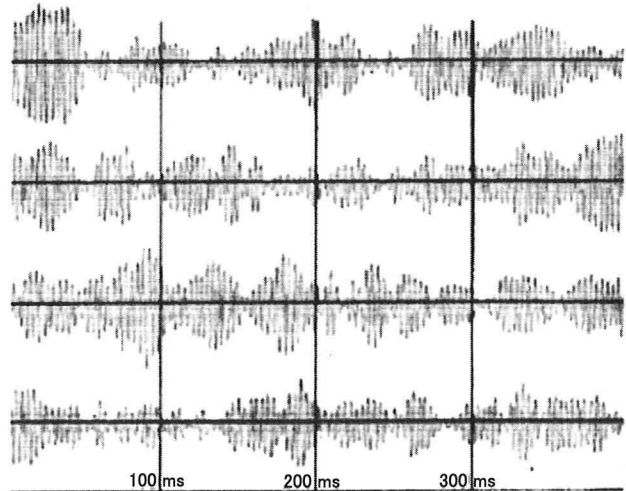
乱雑化を次のように解釈します。

正弦波の速度変動は周波数の低い乱雑な変動によって振幅変調を受ける。その乱雑変動の姿を知るために、速度変動の帯域濾波出力を観察します。ラジオ受信機と同調と検波という処理と同じ手法です。



#6 270 Hz 1V X = 400mm Y = 0

第13図 波形比較



270Hz 1v X = 300mm Y = 0 mm 270 Hz BPF

第14図 濾波器出力

270 Hzに同調した濾波器の出力を第14図に示します。振幅は乱雑で、低周波です。

5 結言

最初に掲げた3つの目標はほぼ達成されました。すなわち、

○ 外部から導入された音の種類によって乱雑化構造は少し違います。例えば雑音(ノイズ)ならば最初から乱雑ですが、線型成長の選択性によって、ほぼ線スペクトルが作られます。これは周期音によって作られるものと殆ど違いありません。出来上った乱流の姿には殆ど違いがありません。

○ 秩序からのずれとして、類似度と乱雑度を定量的に表現することが出来ました。

○ 乱雑化の過程でどのような乱雑さが付け加わるのかについての情報が得られました。その乱雑信号がどこから来るのかはまだ分かりません。