

# 扇風機にひそむ数理

—その回転数を推定する—

西山 豊

## 1. 扇風機が逆に回る

何事につけても一度は疑ってみたがる性分の持ち主なら、きっと経験しているに違いない。扇風機が逆に回転して見えるのを、ここに言う“逆に”とは、モーターの回転方向が逆ということではなく、現実のモーターの回転方向とは逆に回って見える仮想回転のことを言っているのである。

夏の茹るような暑い日、何をしてもいやになる時などは、扇風機をじっと見つめて冥想に耽るのもよい。私もこの夏、この件につき執拗に取り組んでみた。モーターは確か右回り（時計回り）であったはずなのに、なぜ左回り（反時計回り）になっているのであろうか。これは見間違いであろうかと目をこすりながら何度も見たが事実左回りであった。扇風機以外の回転するものについても調べてみた。換気扇、電気カミソリ、果ては電気洗濯機までに及んだが結果は全て同じであった。

扇風機にスイッチを入れる。一定の回転数に達するまでの10秒足らずの間に変化に富んだ仮想回転を見ることができる。回転の向きについて言うならば3つの状態がある。それはモーターの回転方向と同一の場合（順行）と逆の場合（逆行）と、扇風機が止まって見える場合（停止）の3つである。（図1）さらにこの仮想回転の回転数について言うならば、モーターの実回転数がいくら大きくなろうともある大きさを越えることはない。

仮想回転の向きと大きさについて十分な説明を考えつくまで私は何度スイッチを入れたり切ったりしたか分からない。“扇風機が潰れてしまいますヨ”と妻が思案するぐらいに。

## 2. 残像効果

さて逆に回る理由を考えてみたい。誰でもまず考えつくのは残像効果である。“それは残像だよ”と軽く片付けてしまいたくなるものであるが、果して十分な説明が

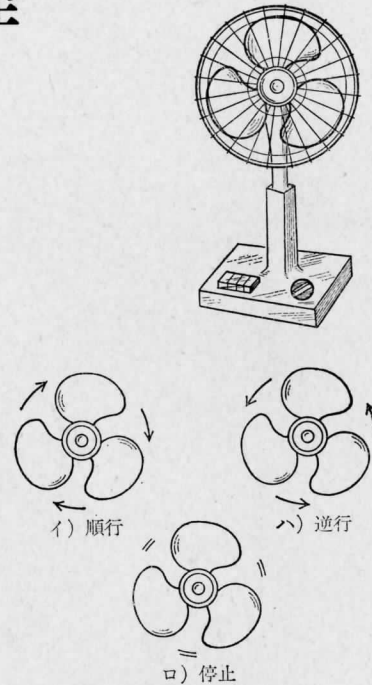


図1 扇風機における仮想回転の3つの状態  
つけられるだろうか。

人間の視覚は、対象物が網膜に結像され視神経を経て大脳皮質にパルスが伝わることによって認識されるわけであるが、対象物が消えた後も僅かではあるが、 $\frac{1}{5} \sim \frac{1}{30}$ 秒くらいの間はなおそこにあるように見える。これを残像と呼んでいる。残像効果こそ、人間が機械やロボットとは違う生理的・化学的動物たる所以でもある。

今、残像効果を取り入れたモデルを作ってみる。扇風機の羽根を簡略化して  $OA_0, OB_0, OC_0$  とする。（図2（イ））羽根  $OA_0$  について考えると、ある一定時間  $dt$  秒後に  $OA_1$  に到達したとしても、残像効果があるためにこの間の羽根はばらばらの線の集りとしてではなく角  $\theta$  の連続した面として認識される。（図2（ロ））この考え方は  $OB_0, OC_0$  についても同様である。斜線の部分を濃度1とすれば、それ以外の部分は濃度0である。（図2（ハ））従って我々は羽根を見ているのではなく残像効果による濃度の分布を見ているのである。人間の視覚の癖として、大きい物よりは小さい物を、曖昧な物よりは明白な物を見ようとする意識が無意識的に働く。すなわち濃度0の部分を追うようになる。濃度0の部分についてのみ見れば、これは時間がたつにつれて  $A_0 \rightarrow C_1 \rightarrow B_2, B_0 \rightarrow A_1 \rightarrow C_2, C_0 \rightarrow B_1 \rightarrow A_2$  のように変化していくから逆に回転して見える。（図2（ニ））

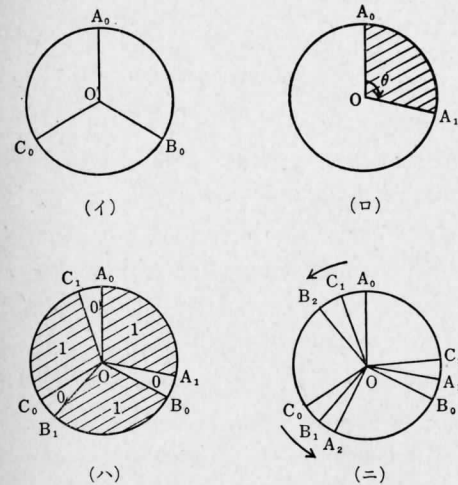


図2 残像効果のモデル

以上の仮説にはかなり無理がある。残像効果には対象物を観察する者の個人差があるかも知れないし、同一人物にしたところでその時の生理状態に大きく左右される。こういった心配もよそにこの仮説はその後一瞬にして打ち砕かれた。扇風機は予想以上に回転数が大きく濃度0の部分などはほとんど観測されなかった。さらにここで取り扱っている仮想回転は昼間、正確に言うならば白日のもとでは見えないという事実であった。

## 3. ストロボ効果

ストロボとは、一定の周期で点滅する放電管で照らすことまたはその装置のことを言う。応用としてはスポーツのフォームの解析なんかを考えられる。カメラのシャッターを開放にしたまま、ストロボで照らしながら撮影すれば時々刻々の変化の状態が一枚のフィルム上に記録されるわけである。

このストロボの効果が夜間には、正確に言うならば電灯の下では働いているのである。我々は日常何の気なしに灯の下で暮しているわけであるが、この灯は実は太陽光線のように連続的なものではなく、ある周期をもった点滅の灯である。ただその周期が極めて短いために連続して輝いているように見えるだけである。交流電流の周波数は関東では50Hz 関西では60Hz であるから、一秒間に50回または60回の灯を見ていることになる。このことを確かめるには次の実験をすればよい。ケイ光灯またはテレビの画面（図3）を後ろにして手を振れば、指が連続して見えるのではなくて何本かの指だけが見える。ただしテレビの場合は周波数は30Hz（画面に写る像の数が毎秒30枚）である。

このストロボ効果を使って扇風機が逆に回る理由を考

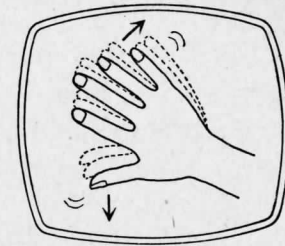


図3 テレビの画面の前で手を振ったところ

えてみよう。扇風機を60Hzのケイ光灯の下で見ているものとする。まず扇風機の最初の羽根の位置は前回と同様に  $OA_0, OB_0, OC_0$  とし（図4（イ））、 $\frac{1}{60}$ 秒後の羽根の位置を  $OA_1, OB_1, OC_1$  とする。（図4（ロ）～（ニ））残像効果のモデルの場合は羽根を連続的に、すなわちいつも見えているという状態にとらえたが、ストロボ効果のモデルの場合は不連続的なものとして、すなわち一秒間には60組の3枚羽しか見えていないとする。

図4（ニ）をよく見ていただきたい。点線で示したのは最初の位置である。3枚の羽根は各々点線の少し手前まで進んだとしよう。そして最初の位置（点線）と、 $\frac{1}{60}$ 秒後の位置（実線）を比べてみる。羽根には実際には  $A_0, B_0, C_0$  といった区別がないから、この場合  $OA_0$  が  $OA_1$  に進んだとみるよりも  $OB_0$  が  $OA_1$  に進んだとみるほうが理解しやすい。他の羽根も同様に  $OC_0$  が  $OB_1$  に、 $OA_0$  が  $OC_1$  に進んだとみる。これで逆に回る理由の説明が一応ついた。逆に羽根が点線を少し越したところまで進んだ場合が順行（図4（ロ））で、点線に重なるように進んだ場合が停止（図4（ハ））である。

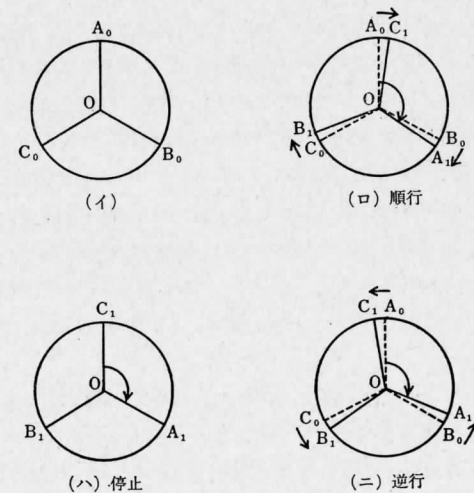


図4 図形で見た実回転と仮想回転

実回転数と仮想回転数の関係は次のようにして求められる。まず仮想回転数が0の時の実回転数を求める。 $\frac{1}{60}$

秒間に  $\frac{1}{3}$  回転, ...,  $\frac{2}{3}$  回転, ...,  $\frac{n}{3}$  回転していればよいわけであるから, 実回転数は 20 回転/秒, 40 回転/秒, ..., 20*n* 回転/秒ということになる. この停止回転を境にして, 実回転が少し大きい時は順行, 少し小さい時は逆行となる. 実回転数を  $n_1$  回転/秒, 仮想回転数を  $n_2$  回転/秒とすれば,

$$n_2 = f(n_1) = \begin{cases} n_1 & (0 \leq n_1 < 10 \text{ のとき}) \\ n_1 - 20i & (20i - 10 \leq n_1 < 20i + 10 \\ & i = 1, 2, \dots, n \text{ のとき}) \end{cases} \quad (1)$$

という“のこぎり刃函数”が得られる. 図5に示すように, 直線函数(イ)とはならずのこぎり刃函数(ロ)となる. こののこぎり刃函数では,  $n_2$  の値が0のところは停止, 負のところは逆行, 正のところは順行に対応している. 実回転数  $n_1$  がいくら大きくなろうとも, 仮想回転数  $n_2$  の順行または逆行の大きさはある大きさ(絶対値が 10 回転/秒)を越えないことがよく分る.

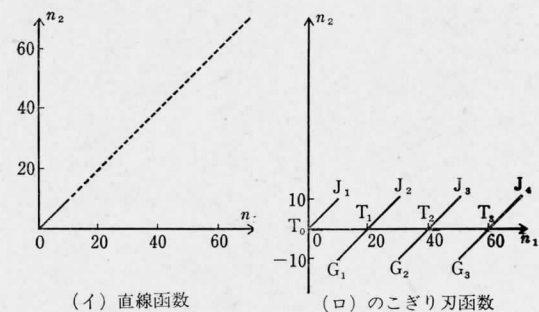


図5 実回転数 ( $n_1$ ) と仮想回転数 ( $n_2$ )

図5(ロ)を参照しながら扇風機の仮想回転のことを考えてみる. スイッチを ON にしてからある一定の速さに達するまでほぼ等角加速度で回転するとすれば, 各実回転数に対応する仮想回転が順次連続して見えることになる. グラフ上では  $n_1$  が0から出発するから, まず  $n_2$  が0すなわち停止状態 ( $T_0$ ), 徐々にスピードを増すにつれ順行の最大点 ( $J_1$ ) に達する. その瞬間逆行の最大点 ( $G_1$ ) となる. そして逆行の回転数を減らしながら再び停止 ( $T_1$ ) を迎える. 停止→順行→逆行→停止の状態を繰り返しているので仮想回転はいわば周期函数でもある.

いつだったか映画を見ていた時, 自動車が前に走っているのに車輪が逆に回って見えたことがあるのを覚えている. その時はそれほど深く気にも止めないでいたが, 今考えてみるに, これもストロボ効果の一語につきる.

映画のコマの数は1秒間に 24 コマである. したがって 24 Hz のストロボ効果ということになる. 少し簡単

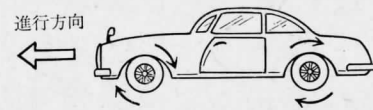


図6 映画の中の自動車

な計算をしてみたい. 自動車の車輪の幅(スポーク)の数を6本, 車輪の直径を 70 cm とする.  $24:6=4$  であるから,  $4n$  回転/秒の時に停止して見えることになる. 時速に直せば, 4 回転/秒は 31.7 km/h, 8 回転/秒は 63.3 km/h に対応している. ( $31.7=4 \times 3.14 \times 0.7 \text{ m/sec} = 4 \times 3.14 \times 0.7 \times 60 \times 60 / 1000 \text{ km/h}$ ) したがってこの時速の少し手前の値, 30 km/h または 60 km/h の速さで自動車が走っていたからこそ車輪が逆に回って見えたのだ!

さて話を扇風機にもどし, 仮想回転の一連の変化から逆に実回転数が推定できないかという問題に取り組んでみる. その方法は 図5(ロ) のグラフから次のように考えられる. 仮想回転数  $n_2$  がゼロすなわち停止状態になる回数を測ってみることで実回転数が推定できる. 実測してみるとその回数は  $n_1=0$  ( $T_0$ ) の時を除いて 4 回まで測れた. 4 回目の停止の時 ( $T_4$ ) の実回転数は 80 回転/秒である. したがってこの扇風機は 80~100 回転/秒であるという推定値を出した. この値とモーターの実測値が一致すればすべてが解決ということであった.

#### 4. 3枚羽の分解と合成

モーターの実回転数が知りたくて日本橋の電気店を隈無く訪ねてみたが, 全然分らないとのことであった. そこで直接 R 電気の回転機事業部に問い合わせたところ次のような数値を示された. (表1) この数値は正しいはずである. もし私の推定値 80~100 回転/秒なんかで回っているとすれば, 扇風機自体がふっ飛んでしまうことになるだろう.

		50 Hz	60 Hz
微風	800 (13.3)	720 (12.0)	
涼風	1050 (17.5)	1040 (17.3)	
強風	1280 (21.3)	1390 (23.2)	

表1 扇風機の回転数(一例).

単位: 回転/分, ( ) 内は回転/秒

このくい違いは一体どこから来たのだろうか. そこで私は扇風機をもう一度見つめ直してみることにした. 確かに停止して見えるのは4回である. しかしよく見れば, 停止はしているが全てが3枚羽として停止しているわけではない. 6枚羽あるいは9枚羽として停止している時もある. このような3の倍数である  $3N$  枚羽がなぜ発

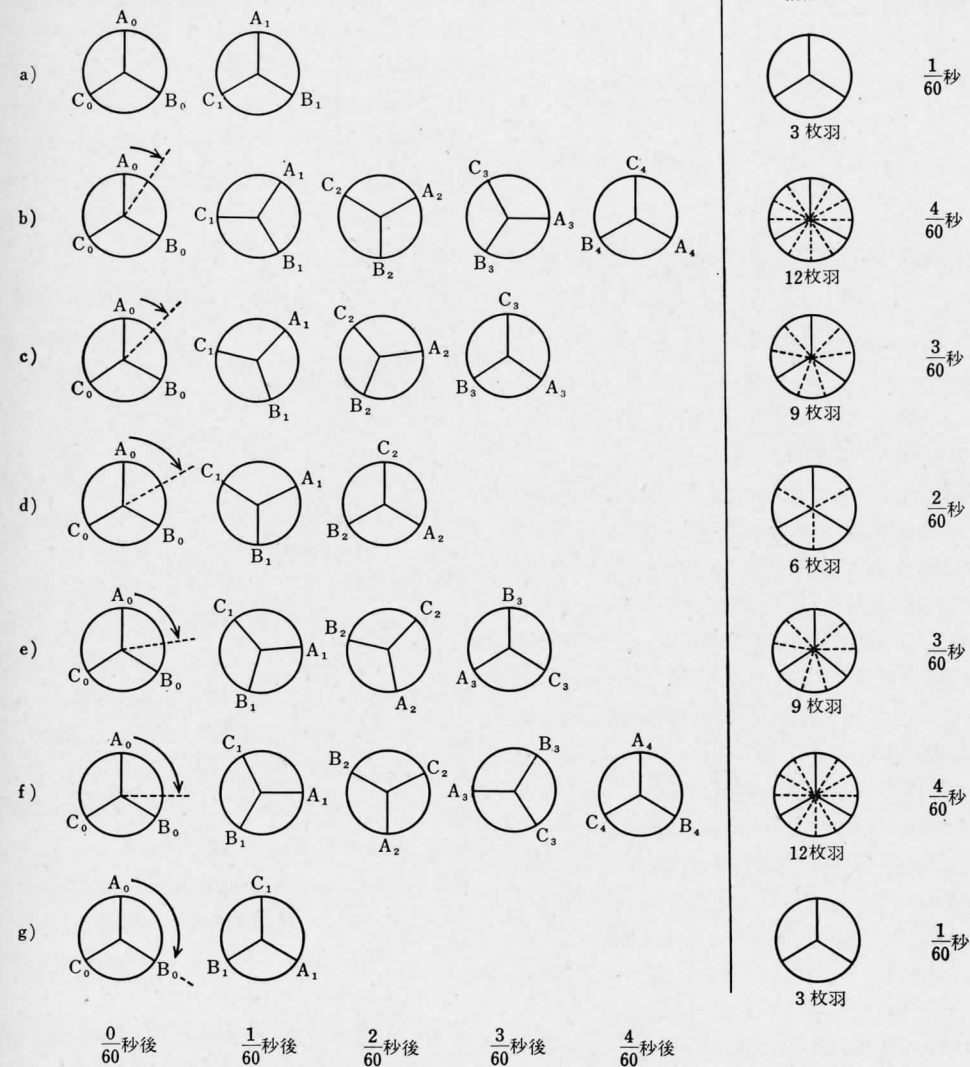


図7 倍数羽の発生とその周期

生ずるかは図7より容易に理解できる. 最初の羽根の位置を ( $A_0, B_0, C_0$ ) で,  $n/60$  秒後の位置を ( $A_n, B_n, C_n$ ) で表わした. また, 回転数の違いによって a) から g) までわけてある. a) は0回転/秒, b) は5回転/秒, ..., g) は 20 回転/秒という具合に. そうすれば, ある周期をもって3枚羽を  $N$  組重ね合せた  $3 \times N$  枚の  $3N$  枚羽がつけられることになる. 例えば d) の場合を考えると, 10 回転/秒で回っているが周期  $\frac{2}{60}$  秒で  $3 \times 2$  枚, すなわち 6 枚羽として回転しているように見えることになる.

$3N$  枚羽における仮想回転数  $n_2$  と実回転数  $n_1$  の関係は,

$$n_2 = f_{3N}(n_1) = \begin{cases} n_1 & (0 \leq n_1 < \frac{10}{N} \text{ のとき}) \\ n_1 - \frac{20i}{N} & (\frac{1}{N}(20i - 10) \leq n_1 < \frac{1}{N}(20i + 10) \\ & i = 1, 2, \dots, n \text{ のとき}) \end{cases} \quad (2)$$

となり, グラフで示せば図8となる. しかし, ここに言う  $3N$  枚羽とは最初からの  $3N$  枚羽ではなく, 3枚羽を重ね合せたことによるものであるから. 羽根の間隔が等しいのは停止時だけであって, その停止時を前後すると次第に間隔のくずれた歪んだ  $3N$  枚羽となっていく.

この分解された  $3N$  枚羽を合成する方法は, フーリエ級数の合成で用いた方法のように行かない. フーリエ



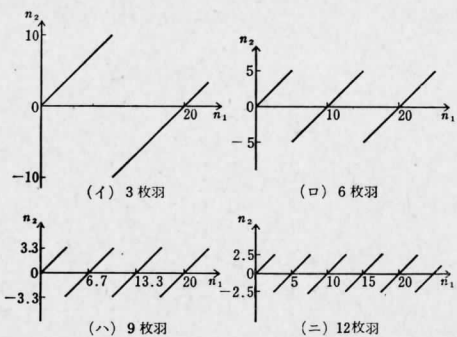


図8 3N枚羽の実回転数(n<sub>1</sub>)と仮想回転数(n<sub>2</sub>)級数の場合は、

$$f(x) = \sum_{k=0}^{\infty} A_k \sin(kx + \varphi_k) \quad (3)$$

として、A<sub>k</sub>とφ<sub>k</sub>の値を決めればよかったが、3N枚羽の合成には次の重ね合せの原理を用いねばならない。

(図9)横軸に実回転数をとる。一番上に3枚羽、その下に6枚羽、9枚羽、…と並べていく。まず3枚羽の停止回転数は0と20である。その回転数に○印をつける。次に6枚羽を重ねる。6枚羽の停止回転数は0と10と20であるが、0と20は既に3枚羽の停止となっているのでその回転数には×印を、10についてのみ○印をつける。以下同様にして9枚羽の場合は6.7と13.3に○印を、12枚羽には5と15に○印を、15枚羽には4と8と12と16に○印をつける。それ以外は全て×印をつける。そして3枚羽から15枚羽を合成する方法として○印をつけたもののみを有効とする方法をとる。すなわち0回転/秒のときは3枚羽、4回転/秒のときは15枚羽、5回転/秒のときは12枚羽、…、20回転/秒のときは3枚羽が有効であるという具合に。

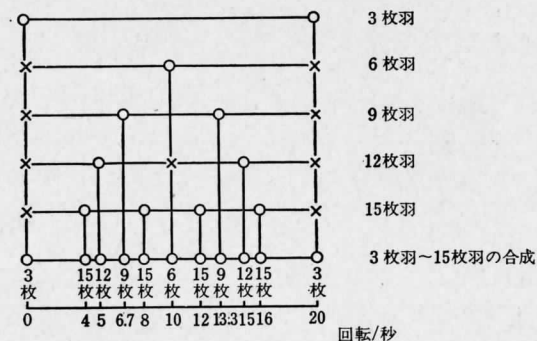


図9 重ね合せの原理

重ね合せによる方法は、区間の直和分割ともいえる。3i枚羽の関数f<sub>3i</sub>(n<sub>1</sub>)が有効なn<sub>1</sub>の区間をX<sub>3i</sub>とすれば、X<sub>3i</sub>∩X<sub>3j</sub>=φ(i≠j)であり、

$$X = X_3 \oplus X_6 \oplus \dots \oplus X_{3N} \quad (4)$$

となる。図8における3N枚羽を単純に重ね合せると図10(イ)になり、各3N枚羽間の境界を決めると図10(ロ)になる。扇風機の各段階のスイッチの回転数を矢印でつけ加えておいた。これによれば、微風の時は9枚羽で逆行、涼風の時は3枚羽で逆行、強風の時は3枚羽で順行ということになる。また、仮想回転数n<sub>2</sub>は4回転/秒を越えない。

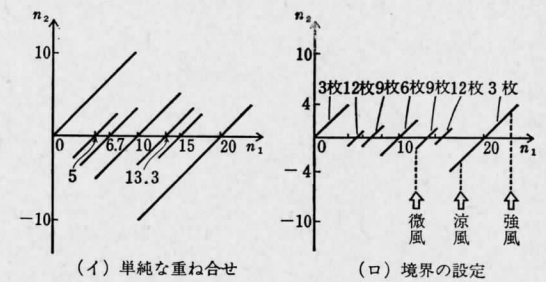


図10 3N枚羽の合成

境界は次のようにして決めた。羽根は6枚羽と3枚羽だけとし、6枚羽は10回転/秒で、3枚羽は20回転/秒で各々停止しているとする。この10と20の間にどこに境界を設ければよいか。6枚羽をA<sub>0</sub>B<sub>0</sub>C<sub>0</sub>D<sub>0</sub>E<sub>0</sub>F<sub>0</sub>(実線)とし、1/60秒後にD<sub>1</sub>E<sub>1</sub>F<sub>1</sub>A<sub>1</sub>B<sub>1</sub>C<sub>1</sub>(点線)になったとする。(図11(イ))この場合D<sub>0</sub>E<sub>0</sub>F<sub>0</sub>とA<sub>1</sub>B<sub>1</sub>C<sub>1</sub>は仮想の羽根である。また、3枚羽をA<sub>0</sub>B<sub>0</sub>C<sub>0</sub>(実線)とし、1/60秒後にD<sub>1</sub>E<sub>1</sub>F<sub>1</sub>に進んだとする。(図11(ロ))実線と点線を比べてみると6枚羽は順行し、3枚羽は逆行したことになる。6枚羽の順行の割合をΔn<sub>6</sub>、3枚羽の逆行の割合をΔn<sub>3</sub>とすれば、羽根の間隔との関係から、

$$\Delta n_6 : \Delta n_3 = 3 : 6 = 1 : 2 \quad (5)$$

とするのが妥当である。n<sub>1</sub>回転/秒をその境界値とすれば、

$$\Delta n_6 : \Delta n_3 = (n_1 - 10) : (20 - n_1) = 1 : 2$$

$$20 - n_1 = 2(n_1 - 10)$$

$$\therefore n_1 = \frac{40}{3} = 13.33 \dots$$

となる。このようにしてことごとく求めたのが図10(ロ)である。

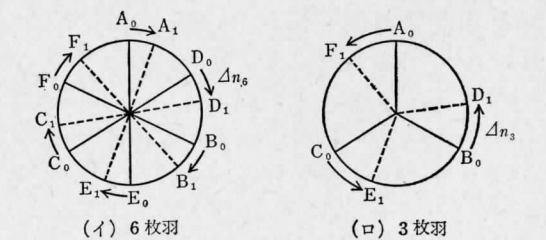


図11 6枚羽と3枚羽の境界

次に3N枚羽の羽根の密度について考えてみる。なぜなら、式だけではNがいくらかでも大きい値をとり

得るが、実際には密度が小さくなるにつれて認識できなくなるからである。60 Hzの発光管の下で羽根を回転させた時、ある1点を通りかかると見える時の枚数を1秒間にわたって求めれば図12になる。図中a), e), f)で黒くなっているのは羽根が通過しているにもかかわらず発光管が暗の状態にあるために観測されないことを示している。枚数は最初の1枚は引いてある。

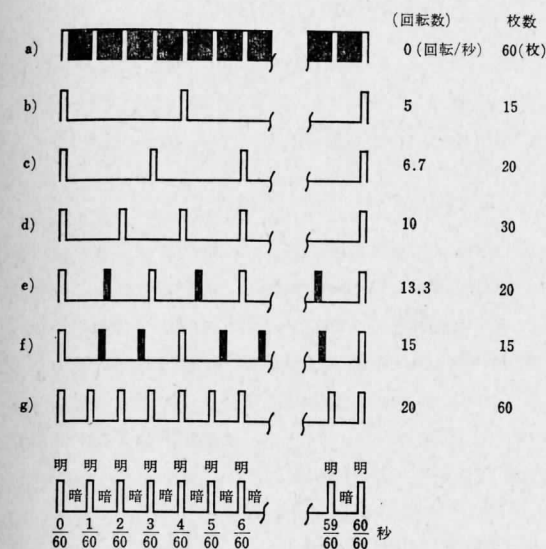


図12 1秒間に観測できる羽根の枚数

ここで求めた枚数をもとに分布密度ρを次のように定義する。観測できる枚数をxとすれば、

$$\rho = \frac{x}{60} \quad (6)$$

である。ρの値は0 ≤ ρ ≤ 1である。3枚羽の時はρ = 1/3、6枚羽の時はρ = 1/2、9枚羽の時はρ = 2/3となる。ここに3N枚羽×分布密度ρ=一定の関係がらみれる。分布密度ρのグラフを図13に示す。ρの値が1/4以下は観測不可能である。ρが1/4であるとは60 × 1/4 = 15で、1秒に15枚しか見えないことになる。ちなみに映画のコマは24コマ/秒である。

比較項目	a)	b)	c)	d)	e)	f)	g)
1) 判定区間(回転/秒)	[0, 4)	(4, 5.7)	(5.7, 8)	(8, 12)	(12, 14.3)	(14.3, 16)	(16, 24)
2) 有効羽	3枚羽	12枚羽	9枚羽	6枚羽	9枚羽	12枚羽	3枚羽
3) 有効区間(回転/秒)	4	1.7	2.3	4	2.3	1.7	8
4) 分布密度	1	1/4	1/3	1/2	1/3	1/4	1
判定	◎	×	△	○	△	×	◎

表2 総合判定

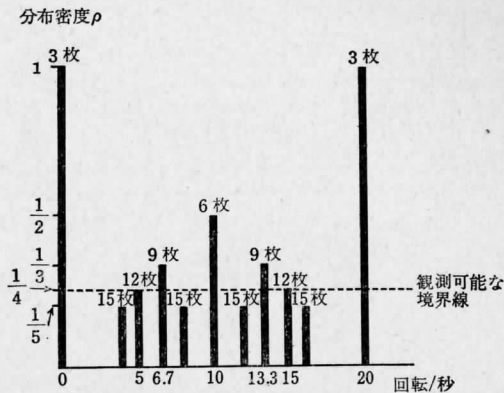


図13 ある回転数における停止羽の数とその密度

以上の点を総合すれば表2となる。◎はもっともよく見える。○は見える。△は注意してみれば見える。×はほとんど見えないことを示している。したがって停止の回転数が4回測れたというのは実は◎と○と△の分で4回であったということになる。すなわち1回目は9枚羽として、2回目は6枚羽として、3回目は9枚羽として、4回目は3枚羽として停止していたことになる。

### 5. ストロボ・スコープ

ストロボ効果を使った回転計にストロボ・スコープがある。具体的にはプレーヤーに應用されている。プレーヤーのように微調整が必要とされるものには最も適している。図14にその例を、表3にスリットの数を示す。

プレーヤーの解説書によれば、スリットが停止して見える時が正しい回転数であるとしている。このスリットの数の根拠を知るには一つだけ、例えば33 1/3回転/分を60 Hzで見るとは216であることを検算しておけばよい。なぜなら、他の三つは、

$$180 = 216 \times \frac{50}{60}, \quad 160 = 216 \times \frac{33 \frac{1}{3}}{45}, \quad 133 = 160 \times \frac{50}{60}$$

という比例関係があるから。さて発光管が60 Hzでスリットが216の時停止して見える条件は、この比の整数倍の回転数であるから、

数学の応用

1976年夏、カナダに在住中、カナダ数学会の年会に出席する機会をえた。その折の招待講演の一つに、数学の応用に関する話があった。

その主張は、ある意味では、すでに本誌上でこれまで何回も語られたものであり、格別非常に新しい識見があるというわけではないが、大変に興味深いものであった。まず講演者は何にでも with applications とつけると本が売れるので、いまに Applied mathematics with applications とでもいう本がでるだろうと皮肉をいう。

ついで、かつて OR についていわれたのと同様に、応用数学の問題の 80% くらいは頓智と高校程度の数学で解けるもの；10% はそれが解ければ大論文になるもの；そして既製の教科書にある周知の手法でうまく解けるのは、残りの 10% くらいだろうという。また現在の数学教育でもっとも欠けているのは、第1に等式的数学に対する不等式的数学；第2にそれと関連するが、概算のセンス、しかもその概算が、過大の近似か過小の近似かをはっきり意識して近似することであるというのが印象に残った。もしかすると、 $\times$ 式採点がしにくいことも、こうした方面が軽視されがちな原因の一つかもしれない。

その昔すぐれた応用数学者は 1/3 工学者、1/3 物理学者、1/3 数学者でなければならぬ、といわれたという。いまではこの比率はかなり変って、そのほかに生物学者や経済学者という要素も大幅に要求されるであろう。しかしいづれにせよ、応用を扱うためには、応用されるほうの分野の知識が十分に必要である。一般に A を B に応用するには、A の専門家が B を勉強するよりも、B の専門家が A を勉強するほうが有効であるという主張があるし、その実例も少なくない。

この講演者があげたいいくつかの例は、きわめて興味深いので、その紹介はまたのおりにしよう。そのあとで「グラフ理論の応用に関する諸問題」という講演があり、講演者は大半を有名な travelling salesman problem に

費した。それは頂点が  $n$  個あるとき、最大  $n^3$  回くらいの手間で、最短路とは限らないが、全長が最短路の  $3/2$  より短い一周路を求める算法であった。十年ほど前、本誌に最大最小問題を連載した折、われわれはあまりにも最適値そのものにこだわりすぎ、このような「準最適値」を手早く求める算法を軽視していた。応用にあたっては、実現のための手間と費用と時間を忘れてはならない、という原則を無視して、「純粋数学者」的な立場からぬけられなかったことを恥しく思った。

余談ながら、この講演で別に感じたことがある。日本における学会の講演は、偉い先生の御説拝聴といった色彩が強く、概して聴衆からのフィードバックが乏しい。それに対してカナダ数学会の講演では、講演者と聴衆とが一体となって楽しんでいる(?) 雰囲気を感じられた。途中で講演者が「何人くらい  $\bigcirc\bigcirc$  の定理を知っているか？」ときく。大勢が手をあげると「じゃ、 $\bigcirc\bigcirc$  の定理の説明は略す。」といって先へ進む。また「時間が不足してきた。あと P と Q とを話すつもりだったが、P をききたい人は手をあげろ。」と意見分布をきいて、「それでは P の方が多いようだからそちらを話そう。」といってその方に入った。Q がききたい人は、休憩の折にでも個人的にききにこいというわけであろう。

日本の学会でこんな真似をしたら、あるいは、「あいつは少数派を切り捨てている」と文句をいう人がでて、袋だたきにされるかもしれない。かつて毒舌家の A. Weil が来日した折、満堂の聴衆を前にして「俺の話がこんなに大勢にわかるはずがない。顔を見にきたやつは帰れ。」といったのも、日本人のやじ馬精神(?) に対する痛烈な皮肉であったのだろう。出席者 150 名、講演数 40 ならずという「小さい」学会だからこそ、このような同族的雰囲気が進んだ、というだけではすまされない何かがあるような印象を受けた。

(ひとまつ しん/京都大学数理解析研究所)

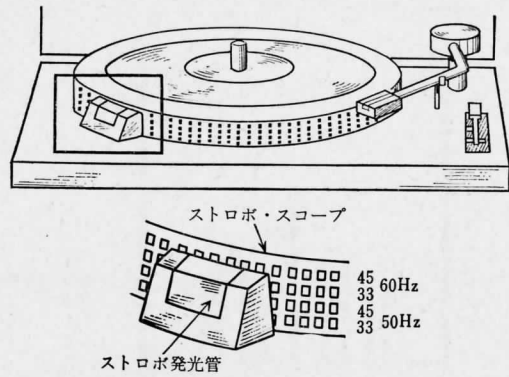


図 14 プレイヤーに取りつけられたストロボ・スコープとストロボ発光管

	50Hz	60Hz
$33\frac{1}{3}$ 回転/分	180	216
45 回転/分	133	160

表 3 プレイヤーの回転数とスリットの数

$$\frac{60}{216} \times n \text{ 回転/秒} = \frac{60}{216} \times 60n \text{ 回転/分}$$

$n=2$  の時、この値は確かに

$$\frac{60}{216} \times 60 \times 2 = \frac{7200}{216} = 33\frac{1}{3} \text{ (回転/分)}$$

となる。

今、発振器の周波数を 60 Hz とした時、スリットの数  $N_s$  と停止回転数  $n_1$  には、

$$n_1 = \frac{60}{N_s} \cdot n \quad (N_s=1, 2, \dots, n=0, 1, \dots) \quad (7)$$

の関係がある。 $n=1$  の時をグラフに表わせれば図 15 となる。

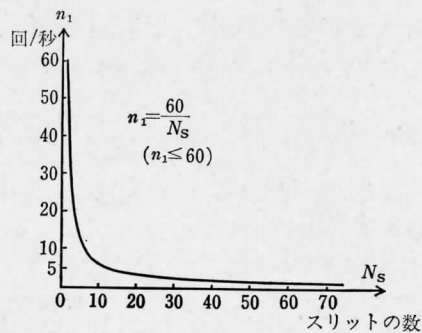


図 15 スリットの数と停止回転数

このグラフから、ストロボ・スコープは低回転数の回転体の測定に最も適していることが言える。なぜなら  $N_s$  が大きくなればなるほど  $n_1$  の変化が小さくなるから。精度が高いことは次のことから明らかである。今、数が一つずつ異なった 3 つの連続したスリット  $N_{s1}, N_{s2}, N_{s3}$  を考える。  $N_{s2}$  のスリットが停止してみえるなら  $N_{s1}$  は逆行、  $N_{s3}$  は順行である。  $N_{s2}$  だけが停止してい

るかどうかの区別はつけにくい、このように 3 つのスリットの方向がそれぞれ異なる場合は区別がつけやすく可能である。そうすれば測定の誤差はたかだか

$$\frac{60}{N_{s1}} \cdot \frac{60}{N_{s2}} = \frac{60(N_{s2} - N_{s1})}{N_{s1} \cdot N_{s2}} \quad (8)$$

である。先ほどの例でいけば、  $N_{s2}=216, N_{s1}=215$  であるから絶対誤差は、

$$\frac{60}{215 \cdot 216} = 0.00129 \text{ 回/秒} = 0.0774 \text{ 回/分}$$

である。プレイヤーの回転数は  $33\frac{1}{3}$  回転/分であるから、相対誤差は

$$\frac{0.0774}{33\frac{1}{3}} = 0.00232$$

となる。この値は、30 分ものの LP レコードを聴いても (30 分  $\times 33\frac{1}{3} = 1000$  回転)、2 回転ほどの誤差の範囲内に速さを調整できることを示している。しかもレコードを 1000 回転も回す必要がなく瞬時に調整できるのである。回転数が音の高低に厳しく影響するプレイヤーにとってはストロボ・スコープは絶対欠かせない存在であろう。

6. 回転計について

回転速度計 (tachometer) は大きく分けて 2 通りある。それは、

- 1) 一定時間内に回転した回数を測るもの
- 2) ある瞬間における回転数を測るもの

である。1) の例としては歯車を介して減速しその回転数をストップウォッチで測る方法等がある。2) の例としては遠心力を応用したものがある。機械的遠心式、液体遠心式、空気遠心式等はともに遠心力が  $m\omega^2$  であり、回転数の二乗に比例することから計算されている。その他、電圧が回転数に比例することを応用した直流または交流の発電機式回転計がある。しかし、その中でもストロボ・スコープは誰でも気軽に測れる回転計としては逸品である。スリットのきざまれた一枚の円盤とケイ光灯さえあれば十分だから。

夢の中で見たことがある。ストロボ・スコープを使った置き物が店のショーウィンドウに飾られてあるのを。もしかしたら実用化されているかもしれない。円盤は全体としてはある方向、ある速度で回っているが、その中の模様は向きもさまざま、速さもさまざまである。こんな楽しい不思議な装飾品がいつか店頭に見える日を！

(にしやま ゆたか/日本アイ・ピー・エム)