

# インタラクティブシステム論 第2回

梶本裕之

Twitter ID kajimoto

ハッシュタグ #ninshiki

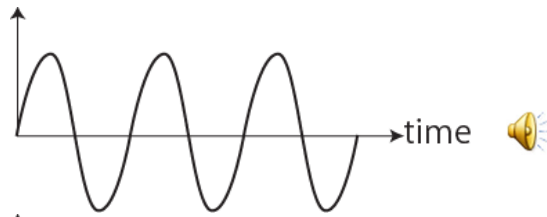


# フーリエ変換

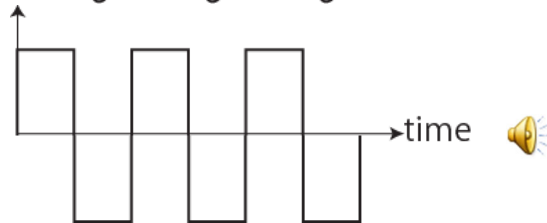


# 信号の「性質」を知りたい

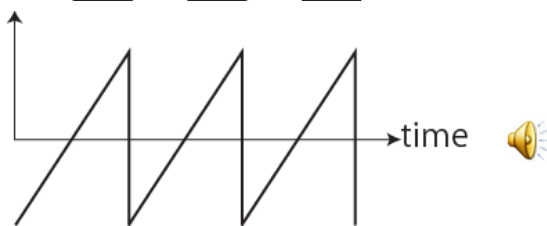
正弦波の音



矩形波の音



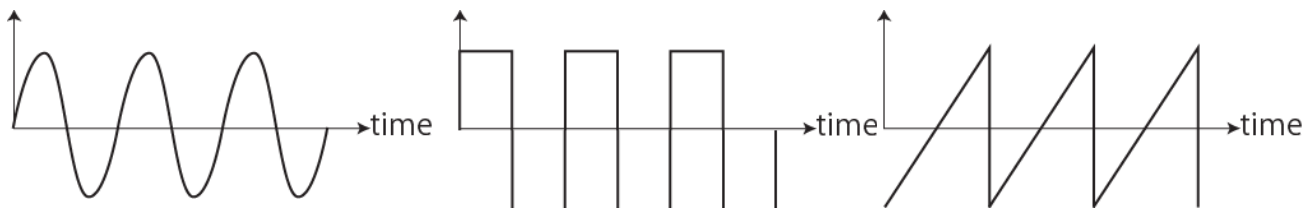
三角波の音



(Q)この3つは、何が違うのだろうか？



## 答えは認識の数だけある



(Q)この3つは、何が違うのだろうか？

(A1)形が違う

(A2)上昇速度, 下降速度が違う

(A3)ある閾値以上となる時間幅が違う

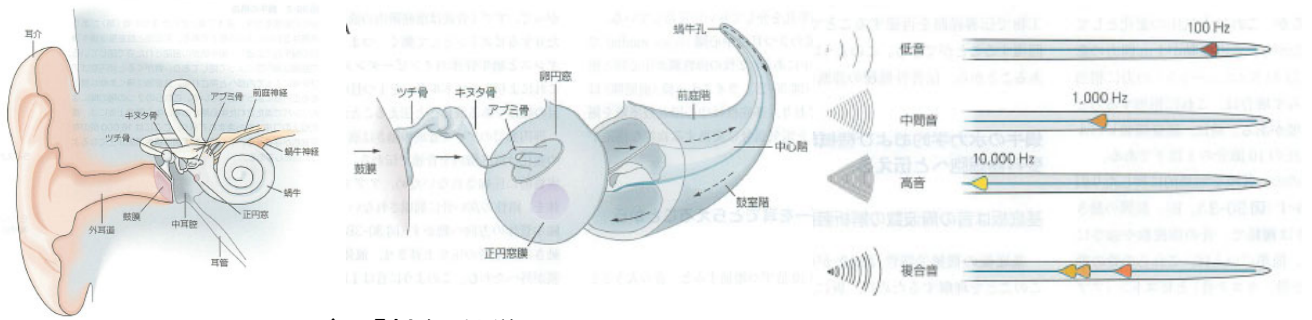
etc...

すべて正しい

回答の正しさは、現象の本質にどれだけ迫っているかによる。  
つまり、現象を認識するシステムによって正答は異なる。



# 人間における音の「認識」とは



カandel「神経科学」より <https://www.medsico.jp/kandel>

- 気体の振動→鼓膜の振動→耳小骨によるリレー→内耳のリンパ液(液体)の振動
- 基底膜の振動基底膜上に進行波を形成
  - 低周波ほど減衰せずに奥まで到達する(周波数分解)
  - 基底膜上の有毛細胞によって振動検出

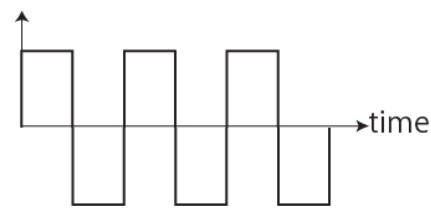


## 音の場合

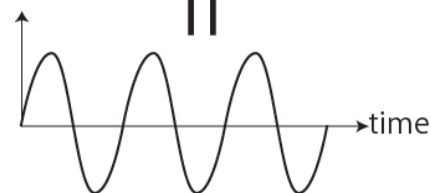
耳は音を、周波数で分解して認識。

⇒周波数成分がアルファベット,  
その合成が単語に相当

⇒音の場合の答え:  
「周波数成分が違う」

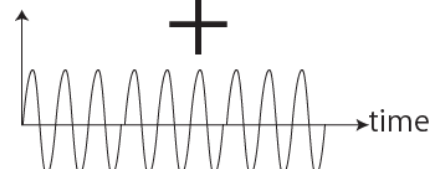


||



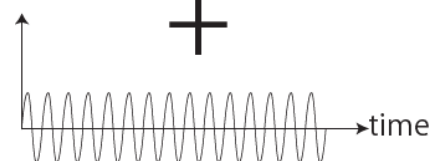
ド

+



ミ

+



ソ

+

⋮



# 他の多くの場合でも周波数が重要

- 耳は音を、周波数分解して認識する装置
- 耳に限らず、多くの生体センサは周波数分解によって現象を把握 (例: 皮膚)

(Q)なぜ**周波数**なのだろうか

言い換えると、  
**正弦波**はなぜ多くの場合、  
「要素」としてふさわしいのだろうか？



物理現象の多くは線形な微分方程式で近似できる

(例)バネ・マス・ダンパ系

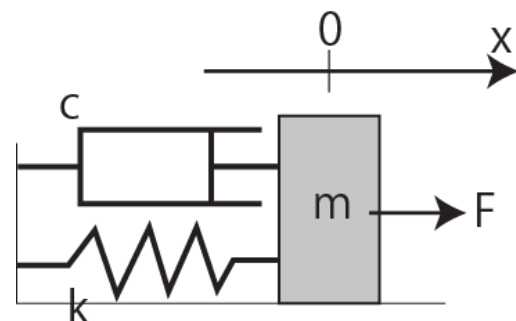
おもりに加わる力は、

F:外力

$cx'$ :粘性による力

$Kx$ :バネによる力

ニュートンの法則  $ma=F$  より、



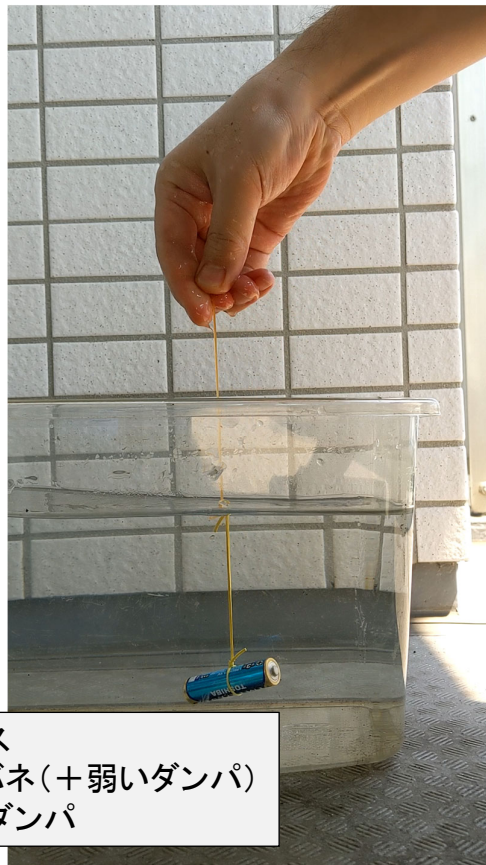
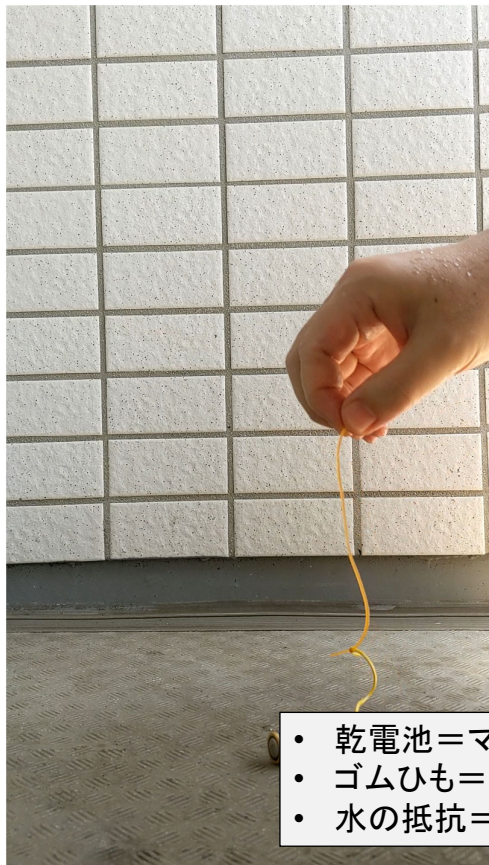
● システムの「入力」と「応答」

✓ 入力:  $F(t)$ : おもりに加える外力

✓ 応答:  $x(t)$ : おもりの動き



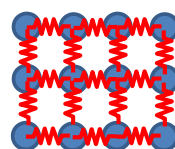
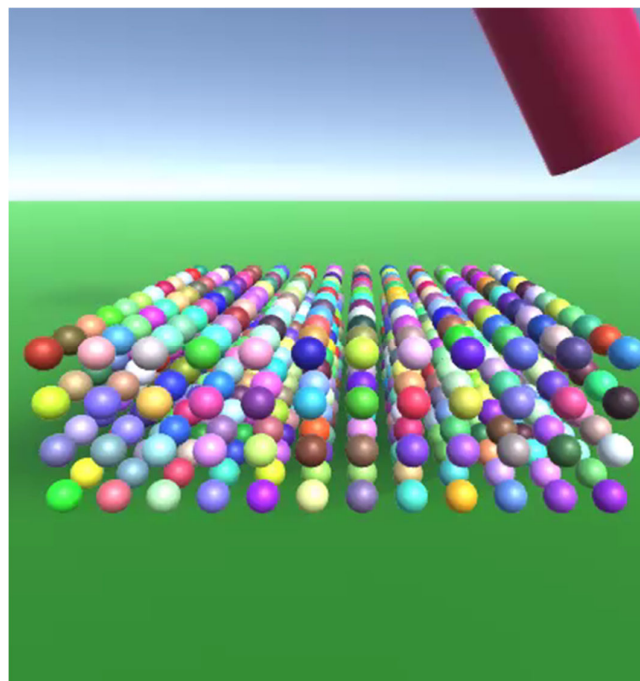
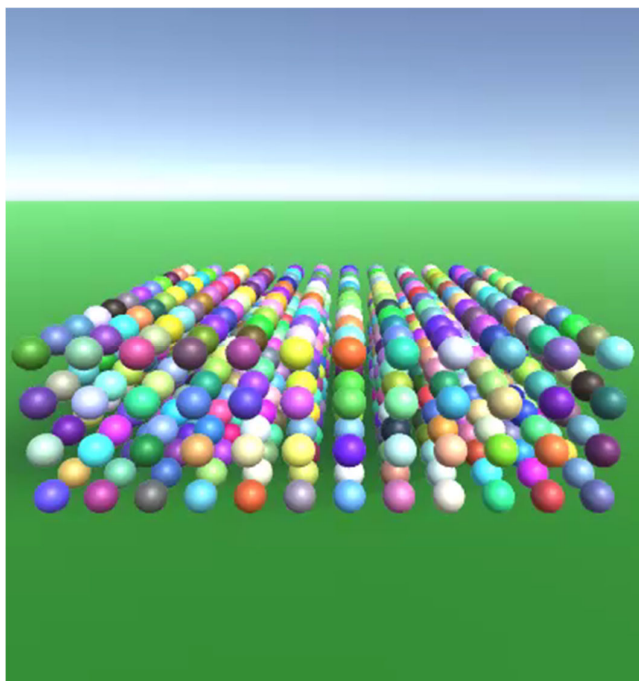
# バネ・マス・ダンパ系



- 乾電池＝マス
- ゴムひも＝バネ(+弱いダンパ)
- 水の抵抗＝ダンパ



## バネ・マス・ダンパ系による世界の記述

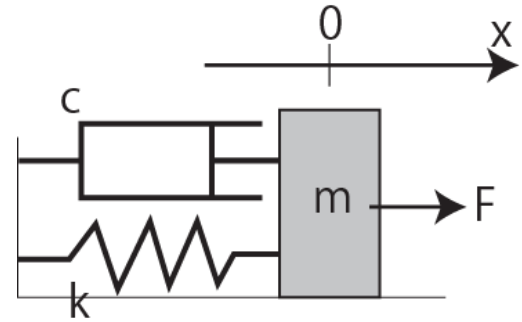




# 「入力」と「応答」の関係を知りたい

$$m\ddot{x} = F - kx - c\dot{x}$$

- ✓ 入力:  $F(t)$ : おもりに加える外力
- ✓ 応答:  $x(t)$ : おもりの動き



「ある入力波形,  $F(t)$ を加えた時に, 応答 $x(t)$ はどうなるか」

この問題に一般的に答えることは出来るか？

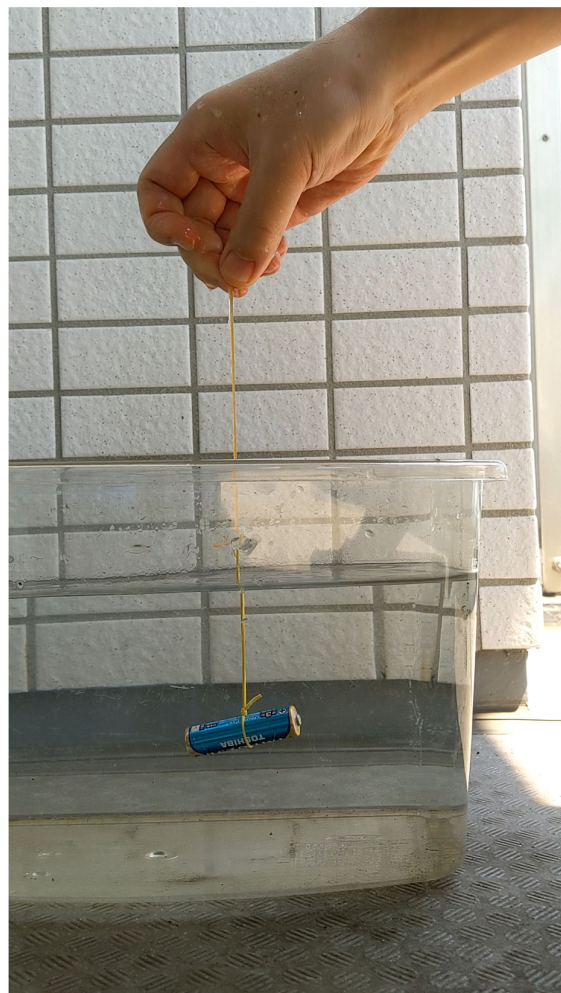
出来る. 正弦波入力を考えることによって



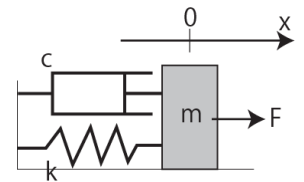
## 色々な正弦波入力 に対する応答は？

乾電池の動きは

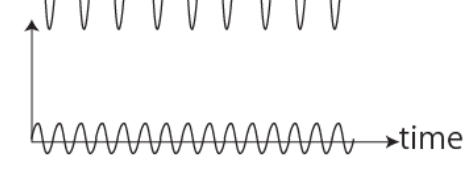
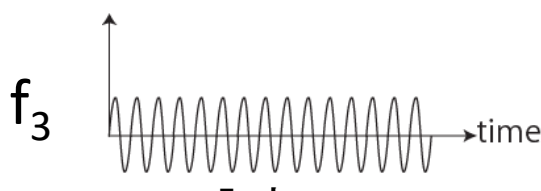
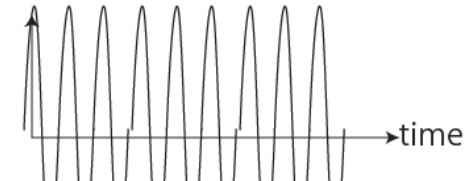
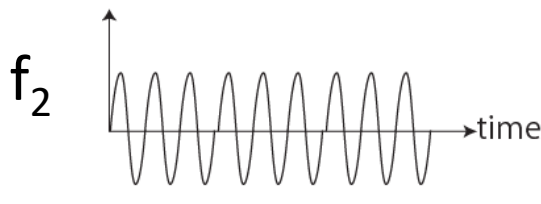
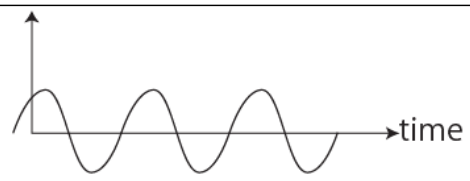
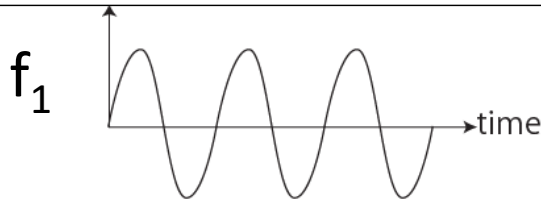
- 低周波: 追従する正弦波
- 中周波: 反転して大きく振動する正弦波
- 高周波: ほとんど動かない正弦波



# 正弦波は歪まない



●線形な微分方程式で記述されるシステムでは、正弦波の入力は「振幅」と「位相」を変えるものの、同じ周波数の正弦波で応答される。



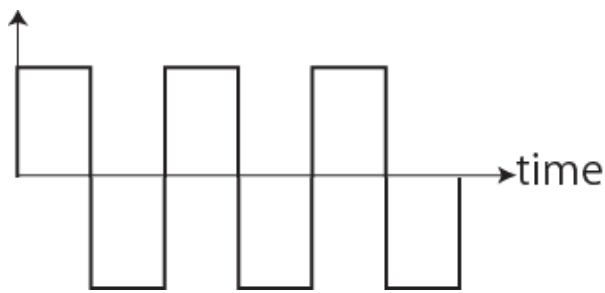
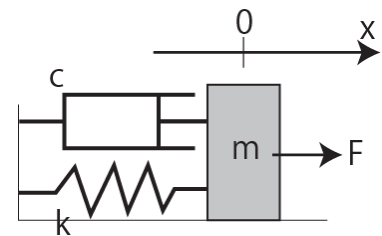
●入力:  $F(t) = \sin(ft)$

●応答:  $x(t)$

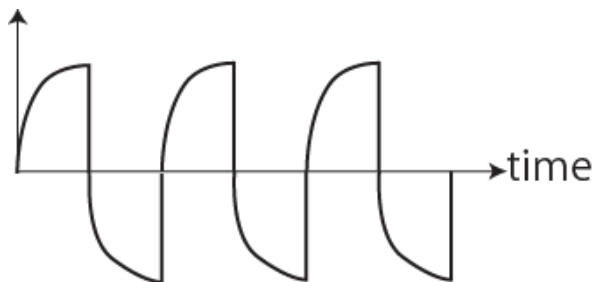


# 一般の波は(もちろん)歪む

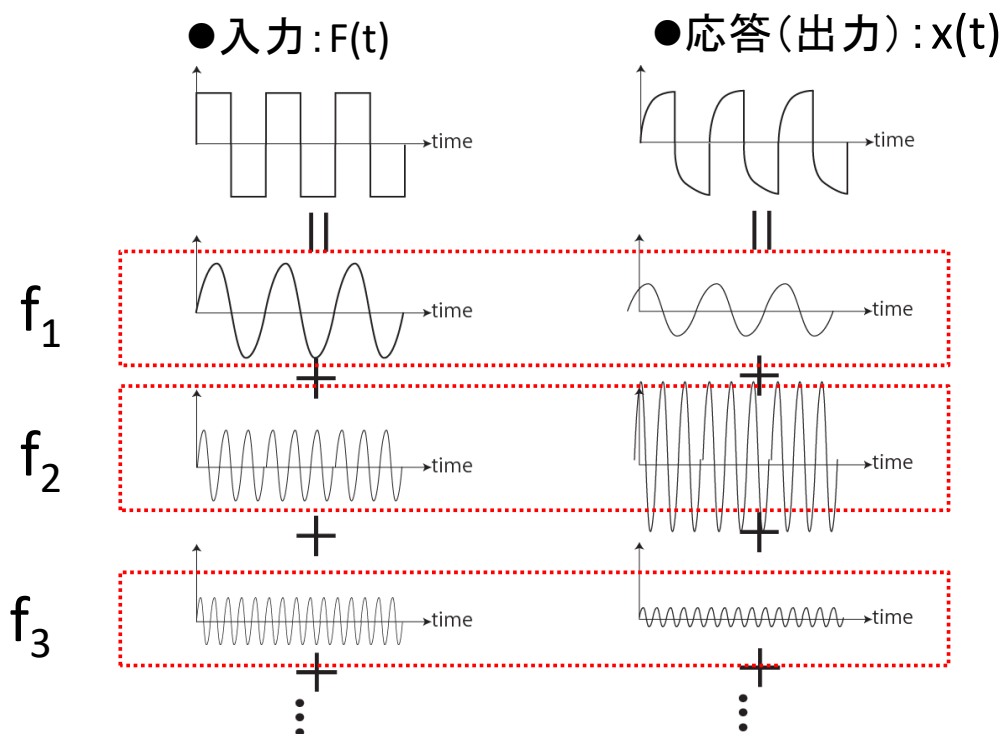
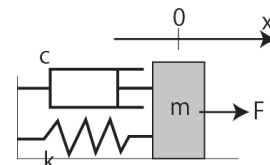
●入力:  $F(t)$  矩形波状の力を加える



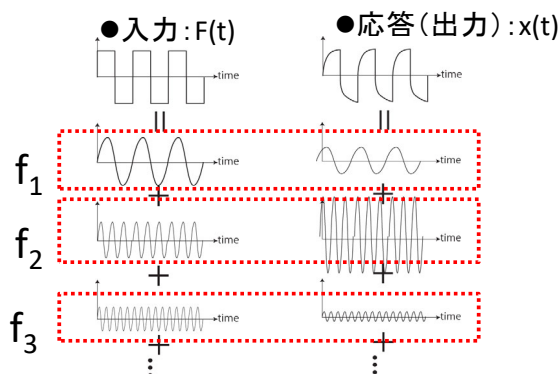
●応答(出力):  $x(t)$



# 歪みを周波数で分解して説明



**(Q) 正弦波はなぜ多くの場合、要素としてふさわしいのだろうか？**



(A1) 正弦波入力に対する出力も  
同じ周波数の正弦波となる(と近似できる事が多い)から

(A2) 周波数**成分ごと**の入出力関係から、  
一般の入力に対する応答(出力)を**合成**できるから



# (参考)「線形」微分方程式の意味

$$m\ddot{x} = F - kx - c\dot{x}$$

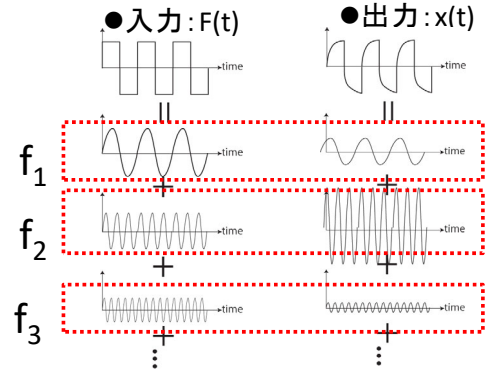
$$m\ddot{x}(t) + c\dot{x}(t) + kx(t) = F(t)$$

$$m\ddot{x}_1(t) + c\dot{x}_1(t) + kx_1(t) = F_1(t)$$

$$m\ddot{x}_2(t) + c\dot{x}_2(t) + kx_2(t) = F_2(t)$$



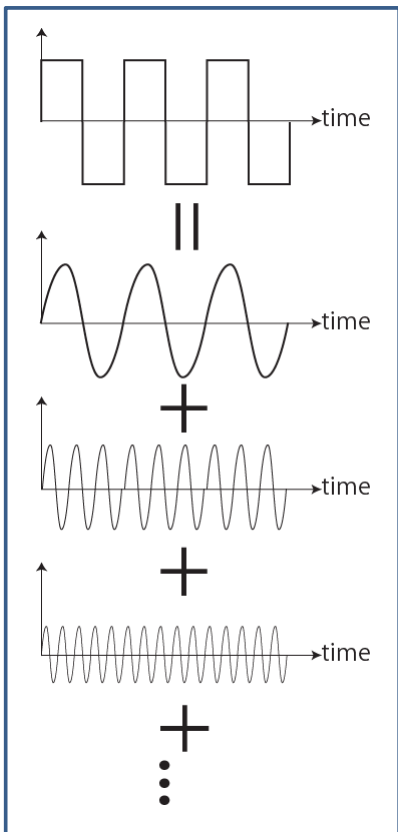
$$m(\ddot{x}_1(t) + \ddot{x}_2(t)) + c(\dot{x}_1(t) + \dot{x}_2(t)) + k(x_1(t) + x_2(t)) = F_1(t) + F_2(t)$$



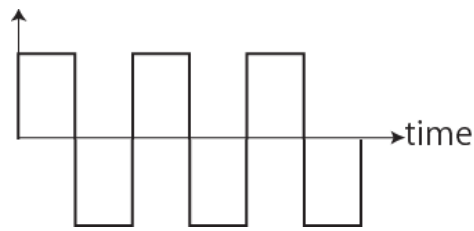
2つの微分方程式を足しあわせても成立する  
 (波形の重ね合わせが成立する)  
 (例えばもし $x^2(t)$ 等の項があるとこれは成立しない)



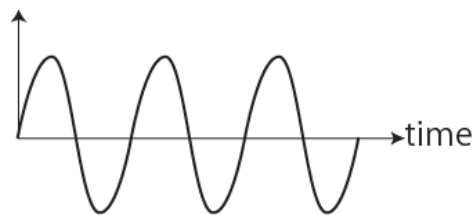
## 波の中に含まれる正弦波の成分を調べたい



第一段階として,



の中に,



はどれだけ含まれるだろうか?

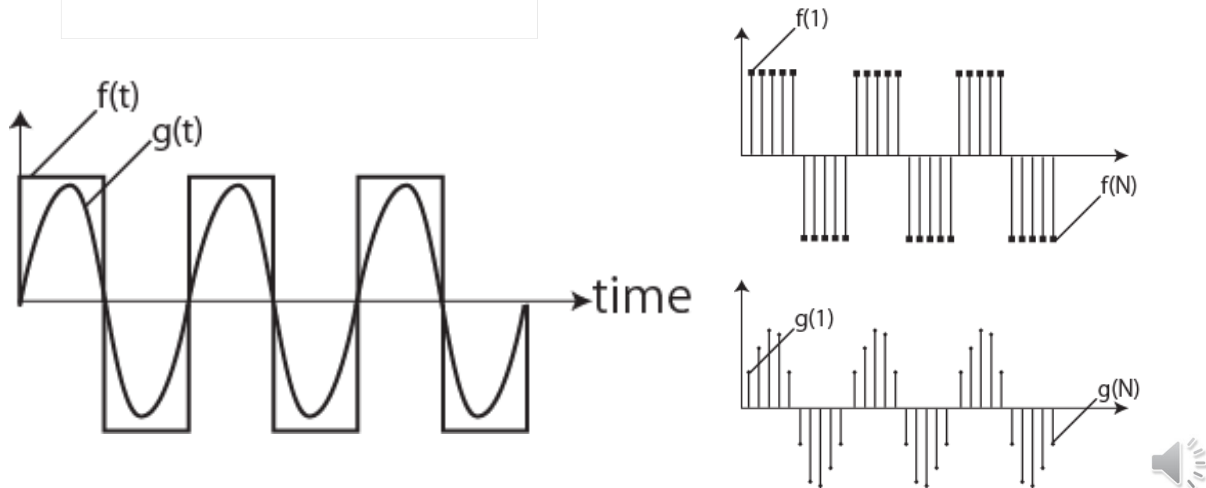


# 波形 $f$ に波形 $g$ はどれだけ含まれるか

波形  $f$  中の, 波形  $g$  の成分

$$= \frac{1}{T} \int_0^T f(t)g(t)dt \quad (\text{連続関数})$$

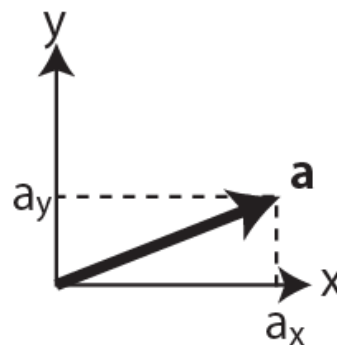
$$= \boxed{\phantom{\frac{1}{T} \sum_{n=1}^N f(n)g(n)}} \quad (\text{離散化して考えた場合})$$



## ベクトル空間と内積(復習)

ベクトル  $\mathbf{a}=[a_x, a_y]$  の  $x$  成分は? . . . . .  $a_x$

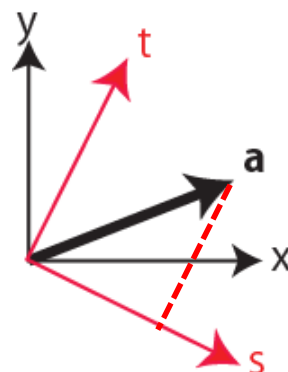
これはベクトル  $\mathbf{a}$  とベクトル  $\mathbf{x}=[1,0]$  との **内積** である.



$$\mathbf{a} \cdot \mathbf{x} = [a_x, a_y] \cdot [1, 0] = a_x$$

回転した座標軸,  $s, t$  を考える.  
ベクトル  $\mathbf{a}=[a_x, a_y]$  の,  $s$  成分は?

これはベクトル  $\mathbf{a}$  とベクトル  $\mathbf{s}=[s_x, s_y]$  との **内積** である.



$$\mathbf{a} \cdot \mathbf{s} = [a_x, a_y] \cdot [s_x, s_y]$$

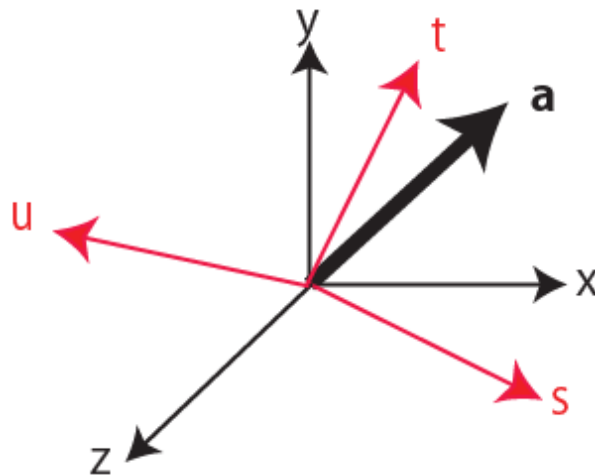
内積は, **あるベクトルが別のベクトルの成分をどれだけ持つか** を表す

さらに

3次元空間に、座標軸  $s, t, u$  を考える。  
ベクトル  $\mathbf{a} = [a_x, a_y, a_z]$  の、 $s$  成分は？

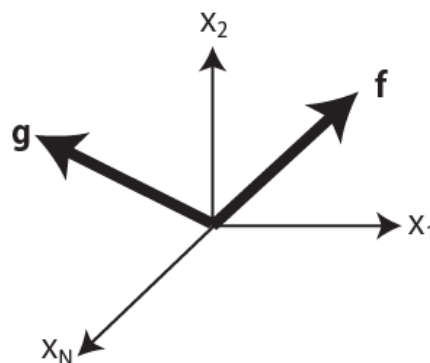
これはベクトル  $\mathbf{a}$  とベクトル  $\mathbf{s}$  との **内積** である。

$$\mathbf{a} \cdot \mathbf{s} = [a_1, a_2, a_3] \cdot [s_x, s_y, s_z]$$



では

$N$ 次元空間で、二つのベクトル  
 $\mathbf{f} = [f_1, f_2, \dots, f_N]$ ,  $\mathbf{g} = [g_1, g_2, \dots, g_N]$  を考える。



**内積  $\mathbf{f} \cdot \mathbf{g}$  は、ベクトル  $\mathbf{f}$  の、 $\mathbf{g}$  軸成分(または逆)を表す。**

=

=

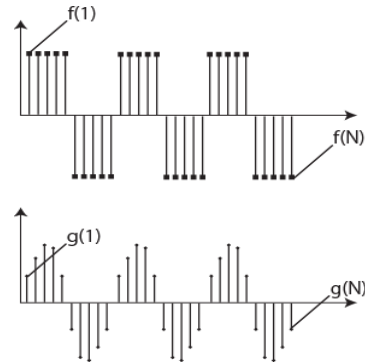
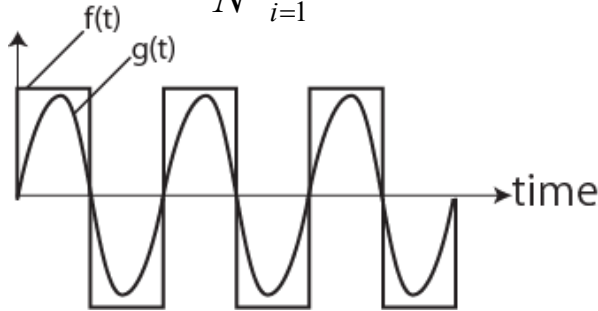


# 波形 $f$ に波形 $g$ はどれだけ含まれるか (再)

波形  $f$  中の, 波形  $g$  の成分

$$= \frac{1}{T} \int_0^T f(t)g(t)dt \quad (\text{連続関数})$$

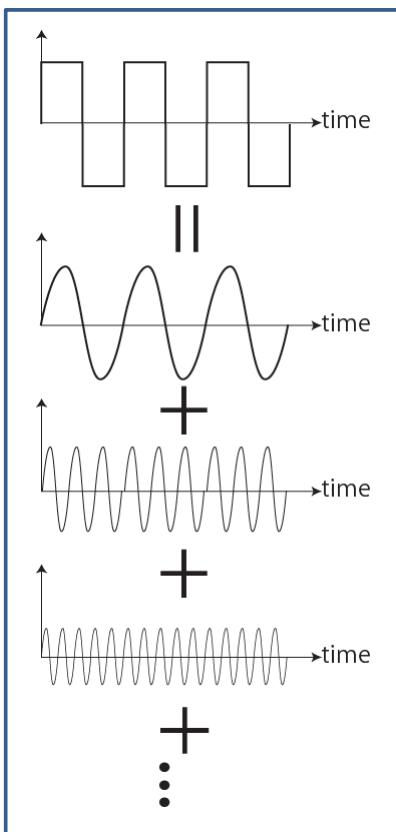
$$= \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N f(i)g(i) \quad (\text{離散化して考えた場合})$$



これは **二つの波をベクトルと考えた時の内積に他ならない**  
 ※内積を連続関数に対して定義



# 元の波形に正弦波がどれだけ含まれるか



元の波形: 周期  $T$  の波形  $f(t)$

周期  $T$  の cosine 波はどれだけ含まれるか

$$a_1 =$$

周期  $T$  の sine 波はどれだけ含まれるか

$$b_1 =$$

周期  $2T$  の cosine 波はどれだけ含まれるか

$$a_2 =$$

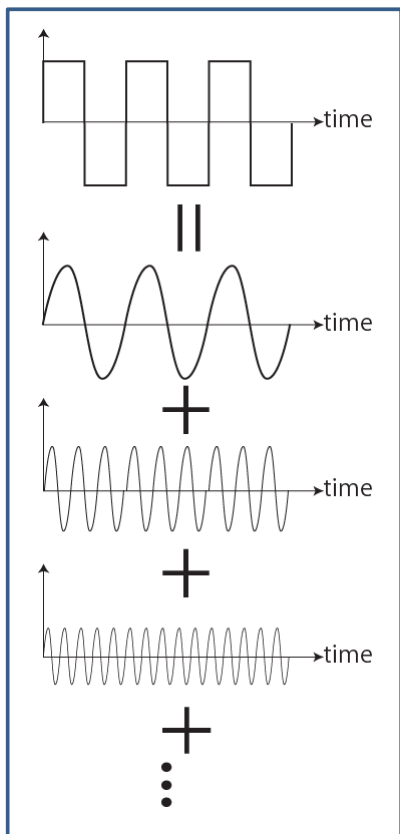
周期  $2T$  の sine 波はどれだけ含まれるか

$$b_2 =$$

以下  $a_3, b_3, a_4, b_4, \dots$



# フーリエ級数展開：定義



周期 $T$ の波形  $f(t)$ は次のように分解できる

$$f(t) = a_0 + \sum_{m=1}^{\infty} a_m \cos(2\pi mt / T) + \sum_{m=1}^{\infty} b_m \sin(2\pi mt / T)$$

$$a_0 = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) dt \quad \text{平均値 (DC成分)}$$

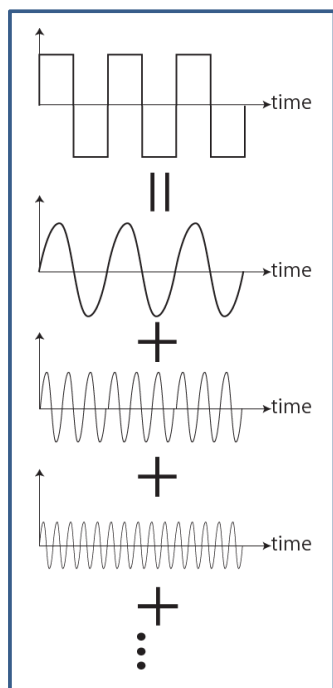
$$a_m = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \cos(2\pi mt / T) dt$$

$$b_m = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \sin(2\pi mt / T) dt$$

※この授業では係数は気にしない。



## フーリエ級数展開の意味するところ



元の波形：周期 $T$ の波形  $f(t)$

周期 $T$ の cosine 波はどれだけ含まれるか

$$a_1 = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \cos(2\pi / T) dt$$

周期 $T$ の sine 波はどれだけ含まれるか

$$b_1 = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \sin(2\pi / T) dt$$

周期 $2T$ の cosine 波はどれだけ含まれるか

$$a_2 = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \cos(2\pi \times 2 / T) dt$$

周期 $2T$ の sine 波はどれだけ含まれるか

$$b_2 = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \sin(2\pi \times 2 / T) dt$$

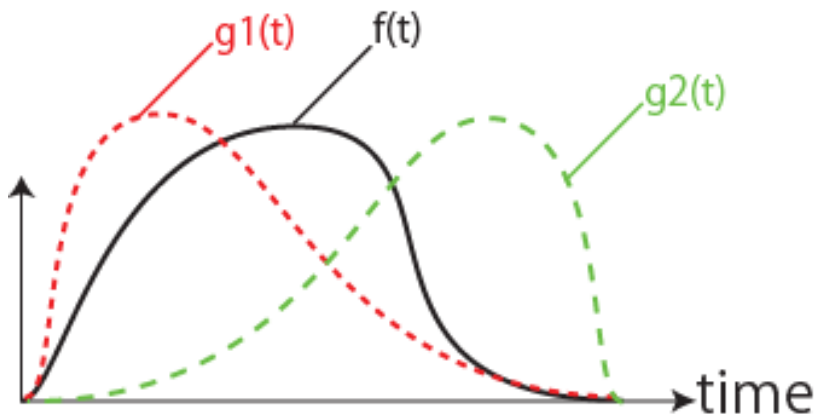
以下  $a_3, b_3, a_4, b_4, \dots$

① 分解の仕方は一通り  
② 分解した各成分を合成すると元に戻る

これは当たり前のことではない！！



# ①分解の仕方は一通り？



f(t)を, g1(t)成分と, g2(t)成分と, 残りに分けたい.

f(t)から,

- (1) まずg1(t)成分を抽出し, 残りからg2(t)成分を抽出する
  - (2) まずg2(t)成分を抽出し, 残りからg1(t)成分を抽出する
- この二つは, 通常は異なる結果を生む.



f=[茶色の丸,  
紫の丸,  
紫の三角]

g1:茶色  
g2:丸

(1)



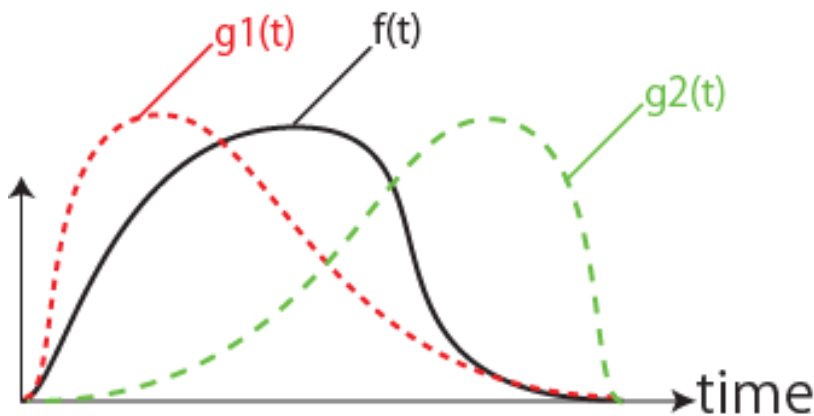
(2)



**普通, 分解の仕方は抽出の順番に依存**



# ②分解した各成分を合成すると元に戻る？



ある成分を抽出した「残り」から次の成分を抽出したことが問題？  
では  
f(t)からg1(t)成分を抽出  
f(t)からg2(t)成分を抽出  
すれば抽出の順番は関係なくなる？

この二成分を合成すると, 元のf(t)より大きくなってしまう.



f=[茶色の丸,  
紫の丸,  
紫の三角]

g1:茶色  
g2:丸



g1 + g2: [brown circle, brown circle, purple circle]

**普通, 合成しても元に戻らない**





## つまり

ある関数 $f(t)$ を,  
関数群 $g_1(t), \dots, g_\infty(t)$ の成分に分解するとき,  
(たとえばフーリエ変換では $\sin, \cos$ . これを基底関数と呼ぶ)

分解方法が一通りで,  
分解結果を合成して元に戻るの

# 稀で特殊



## うまくいくのは

任意の基底関数同士が,  
お互いの要素を持たないとき,  
分解の仕方は一通りとなる.



$f$ =[茶色の丸,  
紫の丸,  
紫の三角]

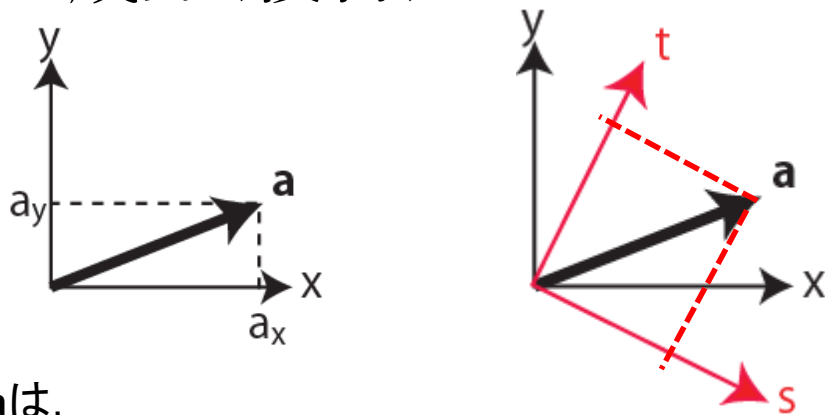
$g_1$ :丸  
 $g_2$ :三角



$$g_1 + g_2 = f$$



# ベクトルの成分(復習)



ベクトルaは,

- ベクトルxとyの成分に一意に分けられる. 各成分は $a \cdot x$ ,  $a \cdot y$ .
- ベクトルsとtの成分に一意に分けられる. 各成分は $a \cdot s$ ,  $a \cdot t$ .

これは

- ベクトルxとyが, お互いの成分を持たないから.
- ベクトルsとtが, お互いの成分を持たないから.

このとき, xとy(sとt)は直交しているという.

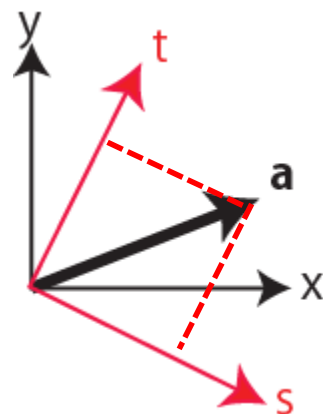


# 直交ベクトルと直交基底(復習)

直交ベクトル同士は, 内積が0である.

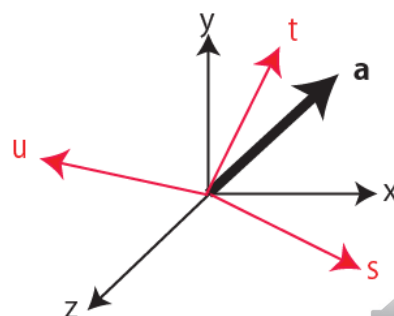
$$x \cdot y = [1, 0] \cdot [0, 1] = 0$$

$$s \cdot t = [s_x, s_y] \cdot [t_x, t_y] = 0$$



逆に, **内積が0であることが直交基底であること**の条件!

N次元空間でN個のベクトルが,  
どの二つをとっても直交しているとき,  
これを**直交基底**と呼び,  
その空間の任意の点は,  
**直交基底の成分**で表せる.  
(図ではx,y,zが直交基底. s,t,uも直交基底)



# N次元空間の直交基底

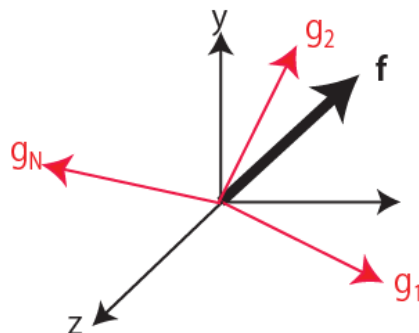
N次元空間で、N個のベクトル

$$\mathbf{g}_1 = [g_{11}, g_{12}, \dots, g_{1N}],$$

$$\mathbf{g}_2 = [g_{21}, g_{22}, \dots, g_{2N}],$$

...

$\mathbf{g}_N = [g_{N1}, g_{N2}, \dots, g_{NN}]$ を考える。



すべてのペアの内積  $\mathbf{g}_i \cdot \mathbf{g}_j$  が0なら、

$$\mathbf{g}_i \cdot \mathbf{g}_j =$$

...

=

=

$\mathbf{g}_1 \sim \mathbf{g}_N$  は直交基底であり、

任意のN次元ベクトル  $\mathbf{f}$  は、 $\mathbf{g}_1 \sim \mathbf{g}_N$  の各成分の和で一意に表せる。



# N次元空間の直交基底の成分

N次元ベクトル  $\mathbf{f}$  の  $\mathbf{g}_i$  成分は、 $\mathbf{f}$  と  $\mathbf{g}_i$  の内積。

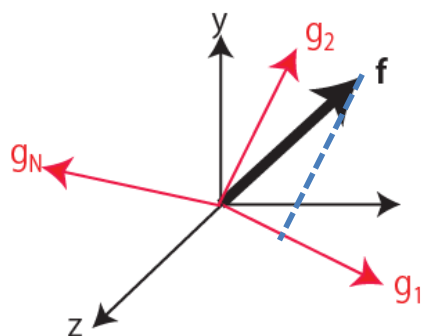
結局、ベクトル  $\mathbf{f}$  は、次のように分解される。

$$\mathbf{f} = (\mathbf{f} \cdot \mathbf{g}_1) \mathbf{g}_1 + (\mathbf{f} \cdot \mathbf{g}_2) \mathbf{g}_2 + \dots + (\mathbf{f} \cdot \mathbf{g}_N) \mathbf{g}_N$$



$$[f_1 \quad f_2 \quad \dots \quad f_N] \cdot [g_{11} \quad g_{12} \quad \dots \quad g_{1N}]$$

$$= \sum_{n=1}^N f_n \mathbf{g}_{1n}$$

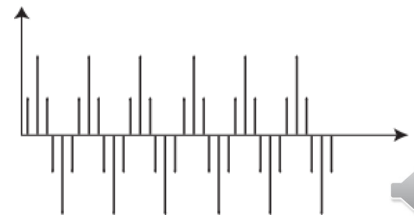
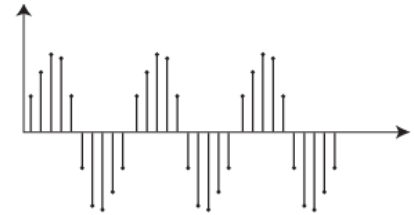
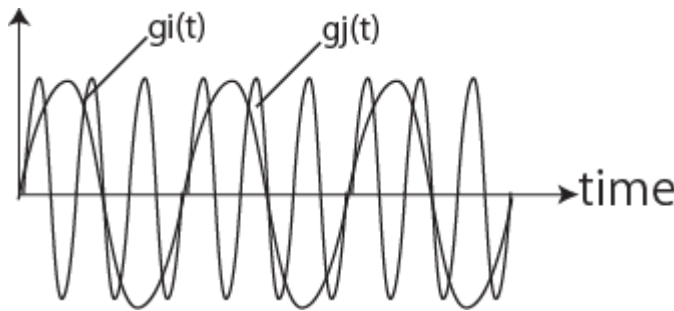


# 関数でも「直交」を内積から定義できる

波形 $g_1$ と $g_2$ の内積を取る.

$$= \frac{1}{T} \int_0^T g_1(t)g_2(t)dt \quad (\text{連続関数})$$

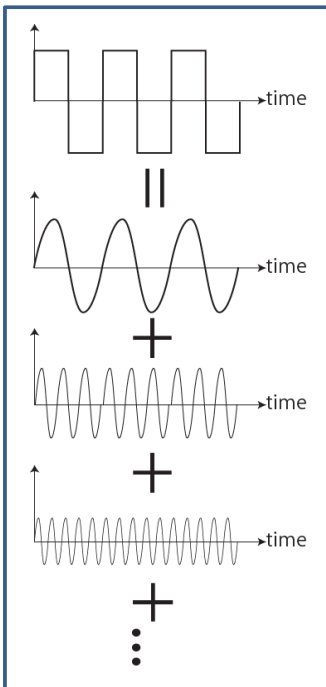
$$= \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N g_1(n)g_2(n) \quad (\text{離散化して考えた場合})$$



これで準備は整った



## フーリエ級数展開の意味するところ(再)



元の波形: 周期 $T$ の波形  $f(t)$

周期 $T$ の cosine 波はどれだけ含まれるか

$$a_1 = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \cos(2\pi / T) dt$$

周期 $T$ の sine 波はどれだけ含まれるか

$$b_1 = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \sin(2\pi / T) dt$$

周期 $2T$ の cosine 波はどれだけ含まれるか

$$a_2 = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \cos(2\pi \times 2 / T) dt$$

周期 $2T$ の sine 波はどれだけ含まれるか

$$b_2 = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \sin(2\pi \times 2 / T) dt$$

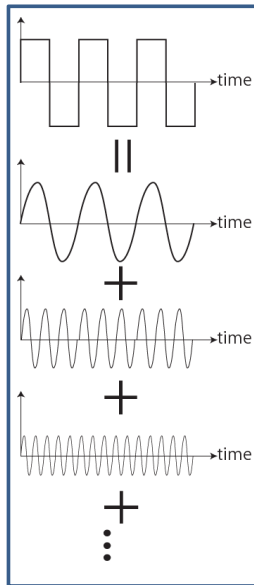
以下  $a_3, b_3, a_4, b_4, \dots$

① 分解の仕方は一通り  
② 分解した各成分を合成すると元に戻る

これは当たり前のことではない！！



# フーリエ級数の各基底関数の内積を取る



二つの基底関数,  $\cos(2\pi mt/T)$ ,  $\cos(2\pi nt/T)$ の内積は？

$$\int_0^T \cos(2\pi mt/T) \cos(2\pi nt/T) dt$$

=

これは $m=n$ でなければ必ず0

二つの基底関数,  $\cos(2\pi mt/T)$ ,  $\sin(2\pi nt/T)$ の内積は？

$$\int_0^T \cos(2\pi mt/T) \sin(2\pi nt/T) dt$$

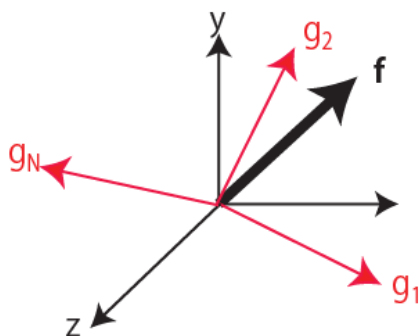
=

これも必ず0

任意の基底関数の内積が0.  
⇒直交基底となる！！



# フーリエ級数の基底関数は直交基底



$$g_1 = \cos(2\pi \times 1t/T)$$

$$g_2 = \sin(2\pi \times 1t/T)$$

$$g_3 = \cos(2\pi \times 2t/T)$$

$$g_4 = \sin(2\pi \times 2t/T)$$

$$g_5 = \cos(2\pi \times 3t/T)$$

$$g_6 = \sin(2\pi \times 3t/T)$$

...

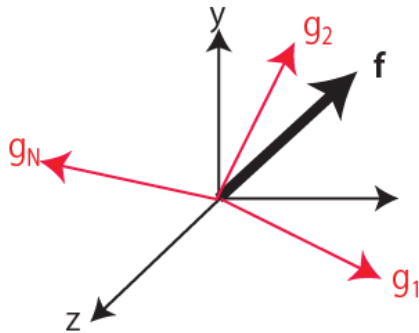
これらは、たがいの要素を持っておらず、  
直交基底を構成する

よって、任意の関数  $f$  は  $g_1 \sim g_{\dots}$  によって一意に表現できる。



# 離散フーリエ変換 (DFT)

有限長さの関数( $0 < t < T$ )を,  $N$ 分割して離散的に表す.  $f(t) \Rightarrow [f_1, f_2, \dots, f_N]$



基底関数  $\Rightarrow$   $N$ 次元基底ベクトルに

$$g_1 = \cos(2\pi \times 1t/T) = [g_{11}, g_{12}, \dots, g_{1N}]$$

$$g_2 = \sin(2\pi \times 1t/T) = [g_{21}, g_{22}, \dots, g_{2N}]$$

$$g_3 = \cos(2\pi \times 2t/T) = [g_{31}, g_{32}, \dots, g_{3N}]$$

$$g_4 = \sin(2\pi \times 2t/T) = [g_{41}, g_{42}, \dots, g_{4N}]$$

$$g_5 = \cos(2\pi \times 3t/T) = [g_{51}, g_{52}, \dots, g_{5N}]$$

$$g_6 = \sin(2\pi \times 3t/T) = [g_{61}, g_{62}, \dots, g_{6N}]$$

...

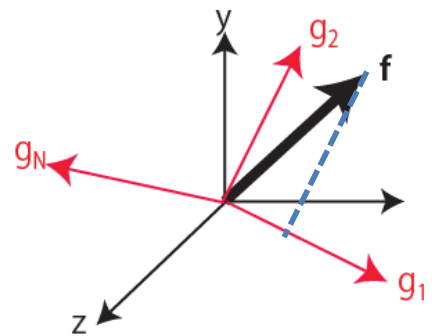
- これらは, たがいに直交する $N$ 次元ベクトルであり, 直交基底を構成する
- よって, 任意の波形  $f$ , すなわちベクトル  $[f_1, f_2, \dots, f_N]$  は  $g_1 \sim g_N$  によって一意に表現できる
- 後述するように通常は  $\cos, \sin$  ではなく  $\exp$  関数を用いる

## 行列による表現

$N$ 次元ベクトル  $f$  の  $g_i$  成分は,  $f$  と  $g_i$  の内積.  
結局, ベクトル  $f$  は, 次のように分解される.

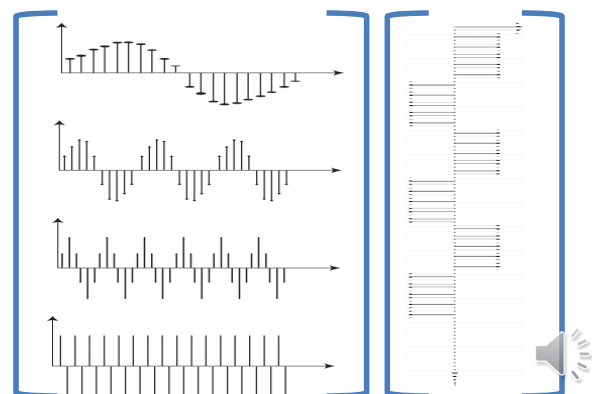
$$f = (f \cdot g_1) g_1 + (f \cdot g_2) g_2 + \dots + (f \cdot g_N) g_N$$

$\hookrightarrow$   $g_1$  の成分. フーリエ級数



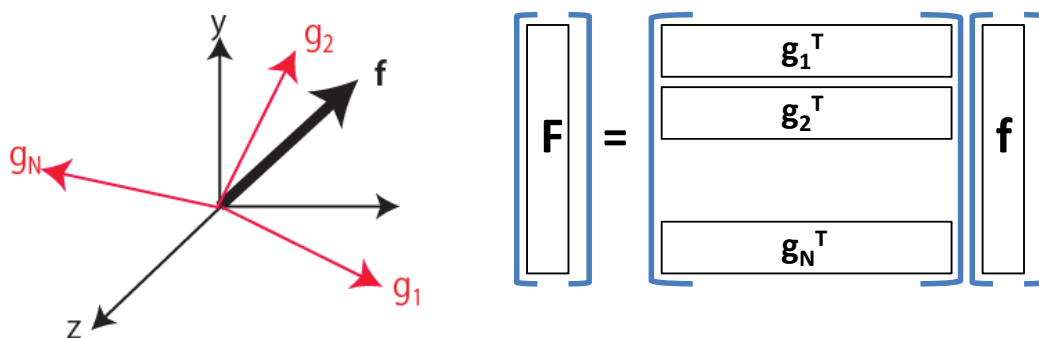
離散フーリエ変換をするには,  $f \cdot g_1, f \cdot g_2, \dots, f \cdot g_N$  なる,  $N$ 個の内積を計算すればよい.

$$\mathbf{F} = \begin{bmatrix} g_1^T \\ g_2^T \\ \vdots \\ g_N^T \end{bmatrix} \mathbf{f}$$





# 離散フーリエ変換とは

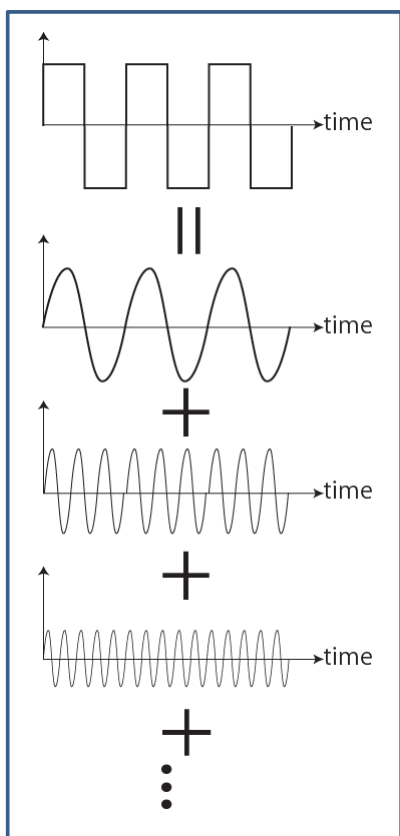


つまり

行列特に回転行列による座標変換の一種であり、  
 実空間の値で表されているベクトル  $f$  を  
 フーリエ空間の値で表されるベクトル  $F$  で表現するもの。



# 複素フーリエ級数展開：定義



周期  $T$  の波形  $f(t)$  は次のように分解できる

$$f(t) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} c_m \exp(j2\pi mt / T)$$

$$c_m = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) \exp(-j2\pi mt / T) dt$$

$\sin(2\pi mt/T)$ ,  $\cos(2\pi mt/T)$  の代わりに、  
 $\exp(i2\pi mt/T)$  を用いて整理したもの。  
 係数  $c_m$  はもはや複素数である。

$\exp(j2\pi mt/T)$  は直交関数系である。すなわち

が、 $m \neq n$  以外で成り立つ。



# フーリエ変換

“周期T”ではない波形  $f(t)$  に対する変換. Tを無限大とすることで導出.

フーリエ変換

$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \exp(-j\omega t) dt$$



$$c_m = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) \exp(-j2\pi mt / T) dt$$

逆フーリエ変換

$$f(t) = \int_{-\infty}^{\infty} F(\omega) \exp(j\omega t) d\omega$$



$$f(t) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} c_m \exp(j2\pi mt / T)$$



# 離散フーリエ変換(DFT)

有限長の信号を離散化し、それにたいしてフーリエ変換するもの。  
フーリエ変換の結果も有限かつ離散なデータ列となる。

離散フーリエ変換

$$F(k) = \sum_{t=0}^{N-1} f(t) \exp(-j2\pi \frac{k}{N} t)$$



$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \exp(-j\omega t) dt$$

離散逆フーリエ変換

$$f(t) = \sum_{k=0}^{N-1} C(k) \exp(j2\pi \frac{k}{N} t)$$



$$f(t) = \int_{-\infty}^{\infty} F(\omega) \exp(j\omega t) d\omega$$



# 振幅, パワースペクトラム, 位相


$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \exp(-j\omega t) dt \quad \text{一般的に複素数の関数}$$

$$\omega = 2\pi f \quad \text{角周波数}$$


角周波数 $\omega$ での振幅

角周波数 $\omega$ でのパワースペクトラム

角周波数 $\omega$ での位相

パワースペクトラムで、元の信号がもつ周波数成分を観察できる 

## パワースペクトラムの観察

スペクトラム・アナライザ



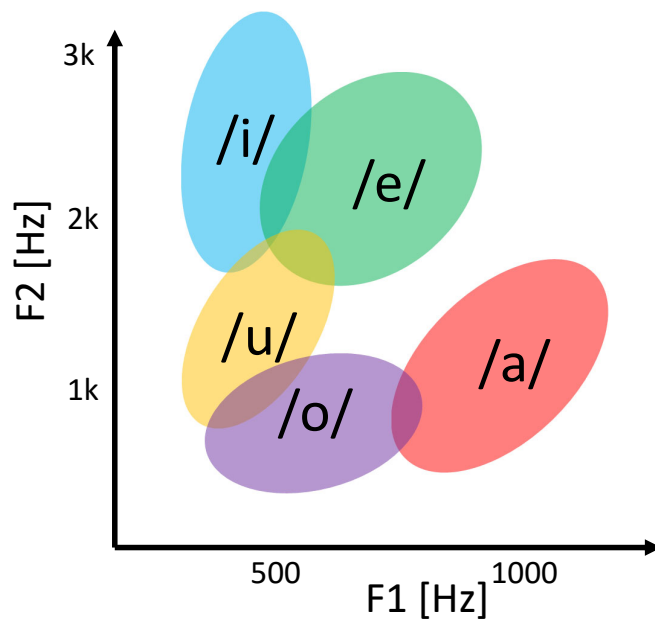
低 周波数 高



アイウエオ



# 音声認識の手がかり: フォルマント



母音は主な周波数(第一フォルマント)と, 次に多い周波数(第二フォルマント)で認識



(参考)しゃべるピアノ



Speaking Piano

<http://www.youtube.com/watch?v=muCPjK4nGY4>

Talking Piano

<https://www.youtube.com/watch?v=-6e2c0v4sBM>



# レポート

次のサンプルコードを参考に、**同じ周期の正弦波、矩形波、三角波**をフーリエ変換し、パワースペクトルを観察、比較せよ。

レポートでは

- 3つのパワースペクトルを一つのグラフに表示する一つのソースコード
- そこからわかったこと、すなわち音色の違いの原因の考察をコメント中に

```
//一周期100の矩形波(ただし直流成分を無くすため平均値0としている)
wave=[ones(1,50), zeros(1,50)] - 0.5;
```

```
//5回繰り返す(回数は適当)
wave = [wave,wave,wave,wave,wave];
```

```
//フーリエ変換
fourier = fft(wave);
```

```
//パワースペクトルを計算
power_spec = fourier .* conj(fourier);
```

```
//計算結果を表示
plot(power_spec);
```



## (参考)Python版

```
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt

wave = np.concatenate([np.ones(50),np.zeros(50)])
wave = np.concatenate([wave, wave, wave, wave, wave])
fourier = np.fft.fft(wave)
power_spec = fourier * np.conj(fourier)
plt.plot(power_spec)
plt.show()
```



# レポート課題(再掲)

- 授業ではScilab(or Python)を使えることを前提に課題を出します.
- 何かこだわりがあれば, 他の物でもかまいません.  
(Matlab, Mathematica, Octave, MATX, Excel,...)
- 課題はほぼ毎回出します.

•Scilab(or Python)を使ったレポートは下記フォームにソースコードをコピーし, 考察を書く形で提出してください. ソースコード以外(wavファイルなど)レポートには添付しなくて結構です.

<https://goo.gl/forms/qf6wCOQC6VQMglee2>

レポートの締め切りは次の週の授業開始前

