

うなり

岡部 康平 森 康太

【概要】

初めに、二つの音さを使って振動数の一定な音でうなりを発生させ、その時音さの振動数の差を調べる。

うなりについての式を立てる。シミュレーションのプログラムを作る。

実験の結果から、うなりは二つの音の高さがある程度まで離れると、両者はひとつの音の強弱ではなく別の二音として聞こえた。このことからうなりは二つの音の振動数の差が小さいときに発生することがわかった。

Firstly we use two tuning forks and generate a growl and examine the difference of the sound number of vibrations then.

We make the expression about the growl. We make a program of the simulation. Both were not strength of one sound and were heard from the result of the experiment to parting of the height of two sounds from the groan to some extent as another two sounds. It has been understood the groan is generated from this when differences of the number of vibrations of two sounds are small.

【研究の目的】

僕たちは、物理の授業でうなりを習うまで「わ～ん、わ～ん」と聞こえることぐらいしか知らなかった。教科書を見るとうなりは公式やグラフで表せ、身近なところでは弦楽器の音程を調整するとき用いられていることを知った。しかし、うなりはどんな時に発生しているのか理解しておらず、うなりについて深く知りたいと思った。

そして、僕たちの周りには、ほかにどのようなうなり現象があるのか気になったので、インターネットを調べたところ「スーパーヘテロダイン方式」というものがあることがわかった。これは、ラジオやTVの電波を受信するときアンテナに発生した高い周波数の電気信号をそのまま増幅すると遠くの放送局の弱い電波を捕まえることができないため、別の周波数と混ぜ合わせて「うなり」を取り出して増幅しているというものだ。この方式によって、現在のTV放送や携帯電話はできているということがわかってうなりというものが現代の生活には欠かせないことがより興味をもたせた。

うなりがどのようなものに使われているかがわかったが次にどのぐらいの振動数どうしの音が重なったとき起こるのか分からなかったので学校にある音さをつかって調べてみようと思った。

しかし、学校にある音さだけでは振動数が限られているので振動数の差を変えてほかの音についても調べることができず、うなりが起こる条件が詳しく分からないので二年生のSSHの授業で習ったシミュレーションを作って調べたいと思った。

【仮説】

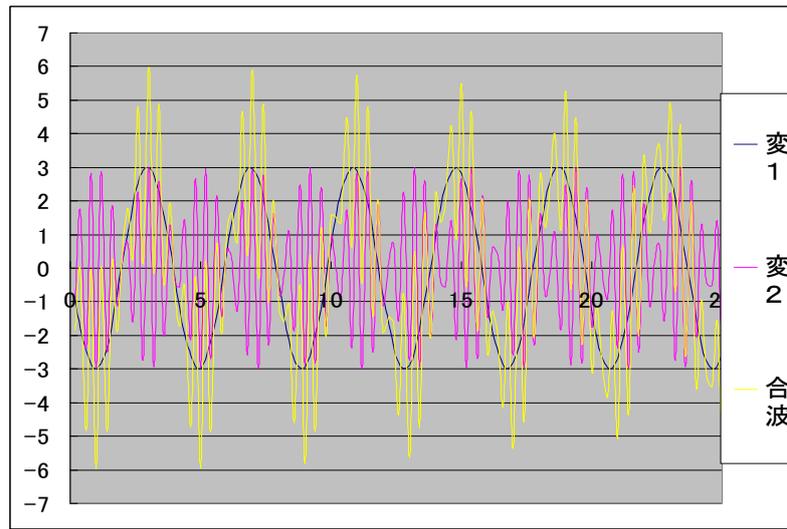
- ① うなりは二つの音の振動数の差が小さいときに発生する
- ② 波は単振動の一種である
- ③ 救急車が通るとき聞こえる音はうなりである。

【使用道具】

音さ
PC
マイク

【実験方法】

- ① 初めに、二つの音さを使って振動数の一定な音でうなりを発生させ、その時音さの振動数の差を調べる。
- ② うなりについての式を立てる。
- ③ シミュレーションのプログラムを作る。
- ④ プログラムを使い、振動数を変えて調べる。



【結果】

振動数 500Hz (変位 1) と、503Hz (変位 2) のシミュレーション

時間	変位 1	変位 2	合成波	時間	変位 1	変位 2	合成波
0.2	-0.93951	-0.90911	-1.84862	6.4	2.084536	-1.24317	0.841362
0.4	-1.78451	1.732721	-0.05179	6.6	2.655338	2.012097	4.667435
0.6	-2.44997	-2.39339	-4.84335	6.8	2.958994	-2.5918	0.367195
0.8	-2.86894	2.828974	-0.03997	7	2.964955	2.927763	5.892717
1	-2.99928	-2.99852	-5.9978	7.2	2.672621	-2.9884	-0.31577
1.2	-2.82788	2.88608	0.058205	7.4	2.111403	2.767995	4.879398
1.4	-2.37196	-2.50223	-4.87419	7.6	1.337764	-2.28729	-0.94952
1.6	-1.67742	1.883064	0.205647	7.8	0.429537	1.591479	2.021016
1.8	-0.81411	-1.08681	-1.90092	8	-0.52191	-0.74601	-1.26791
2	0.131102	0.188355	0.319457	8.2	-1.42084	-0.16962	-1.59046
2.2	1.063124	0.727815	1.790939	8.4	-2.17683	1.0693	-1.10753
2.4	1.888189	-1.57554	0.312648	8.6	-2.71381	-1.86842	-4.58223
2.6	2.523289	2.2751	4.798388	8.8	-2.97777	2.491828	-0.48594
2.8	2.904528	-2.7607	0.143824	9	-2.94214	-2.8809	-5.82304
3	2.993553	2.986688	5.980241	9.2	-2.61051	2.999051	0.388536
3.2	2.781405	-2.9318	-0.15039	9.4	-2.01625	-2.83516	-4.85142
3.4	2.28943	2.601198	4.890628	9.6	-1.21914	2.404654	1.185513
3.6	1.567121	-2.02598	-0.45886	9.8	-0.29938	-1.74801	-2.04738
3.8	0.68715	1.260229	1.947379	10	0.650509	0.926973	1.577482
4	-0.26195	-0.37597	-0.63792	10.2	1.534948	-0.01877	1.516183
4.2	-1.1847	-0.54365	-1.72835	10.4	2.264961	-0.89121	1.373754
4.4	-1.98826	1.412144	-0.57612	10.6	2.767103	1.717368	4.48447
4.6	-2.59179	-2.14784	-4.73962	10.8	2.990855	-2.38203	0.60883
4.8	-2.93456	2.681542	-0.25302	11	2.913707	2.822673	5.73638
5	-2.9821	-2.96307	-5.94517	11.2	2.54342	-2.99787	-0.45445
5.2	-2.72962	2.965949	0.236328	11.4	1.917248	2.891146	4.808394
5.4	-2.20252	-2.6899	-4.89242	11.6	1.098187	-2.51253	-1.41434
5.6	-1.45383	2.160895	0.707064	11.8	0.168642	1.897635	2.066277
5.8	-0.55888	-1.42867	-1.98755	12	-0.77787	-1.10428	-1.88215
6	0.392304	0.562095	0.954399	12.2	-1.64612	0.20708	-1.43904
6.2	1.304017	0.357342	1.661359	12.4	-2.34877	0.709596	-1.63917

うなりは発生している。

振動数 500Hz (変位 1) と, 520Hz (変位 2) のときのグラフでうなりが発生していない。

音さ 1	364.8Hz
音さ 2	369.2Hz
振動数の差	4.4Hz

【考察】

仮説①

1秒間に4.4回のうなりは発生した。

一つ目の仮説, うなりは音の高さがわずかに異なる二つの音が鳴っているとき, 各々の基音の周波数の差に相当する周期で音の強弱が聞こえる現象である。このとき二つの音は, 強弱が変化しているように聞こえる。P5のグラフを見て分かるように二つの音の高さがある程度まで離れると, 両者はひとつの音の強弱ではなく別の二音として聞こえることから, うなりは二つの音の振動数の差が小さいときに発生するという仮説は正しかった。

仮説② 数学的な波の式は $Y=A\sin 2\pi (f/T - x/\lambda)$ とあらわせる

(A ; 振幅, f ; 振動数, T ; 周期, λ ; 波長)

$$\begin{aligned} Y &= A\sin 2\pi (f/T - x/\lambda) \\ &= A\sin (2\pi f \cdot t - 2\pi x/\lambda) \\ &= A\sin 2\pi (f \cdot t - x/\lambda) \end{aligned}$$

振幅 A1, 振動数 f1, 波長 $\lambda 1$ の波の式を Y1
振幅 A2, 振動数 f2, 波長 $\lambda 2$ の波の式を Y2
とすると,

$$\begin{aligned} Y1 &= A1\sin 2\pi (f1 t - x/\lambda 1) \\ Y2 &= A2\sin 2\pi (f2 t - x/\lambda 2) \end{aligned}$$

とあらわせる。

ここで, 2つの音波の振動数の振幅と位相が等しいとするときの, 2つの音波の重ね合わせは,

$$Y1 + Y2 = A\sin(2\pi f_1 t) + A\sin(2\pi f_2 t) \text{---①}$$

となる。

式を三角関数の和積の公式を用いて展開, 整理する。

$$Y1 + Y2 = 2A\cos \{2\pi (f_1 - f_2) / 2 \cdot t\} \cdot \sin \{2\pi (f_1 + f_2) / 2 \cdot t\}$$

ここで $|f_1 - f_2| = f_3$, $(f_1 + f_2) / 2 = f_4$ とおく。

F3 は cos の中身なので, $f_1 - f_2$ の正負によって Y1+Y2 の値が変わることはない。

したがって, ここでは f_1 と f_2 の差の絶対値を f_3 とおいた。

$$2A\cos (2\pi f_3 / 2 \cdot t) \sin (2\pi f_4 t) \text{---②}$$

この②式は $f_3 \ll f_4$ であるとき, 振動数 f_2 の波の振幅が振動数 f_1 で変調していると見ることができる。

このことから, 二つ目の仮説, 波の2式を合成すると三角関数の和積の公式で表せるのでうなりは単振動の一種という仮説も正しかった。

【感想】

シミュレーションを作るのは思っていたよりも難しく, なかなかできず作るのに苦労した。うなりには放送の音声や信号がすべて含まれていて, それによって構成されている「スーパーヘテロダイナミック方式」というものがなかったら現在の携帯電話やTV放送は存在しなかった。

また, うなりを数学的な式で表していくと, 三角関数で表されることは授業で習っていたが, 級数でも表されることを知った。

音楽の分野でもうなりは使われていて, ギターの調弦に使われていることぐらいは知っていたが, 周波数の近い音源を重ねると音のうなりが発生して聴覚上美しい響きになるということを知って驚きました。今までは全く同じ周波数を重ねるほうがよく聞こえると思っていたが, 少しずれていたほうが普通のものよりきれいになるものもあるらしい。

以上のように実験やシミュレーションを通して波に関する多くの知識を得ることができた。特にうなりは現代生活には欠かせないものだと気づかされた。