

不快なごみから心地よい音楽を作る ～非整数次倍音はなぜ発生するのか～

群馬県立高崎高等学校
赤澤創太 藤吉優斗

要旨

人間に対して心地よさを感じさせる自然音を参考に心地よい音を奏でることのできる楽器の開発を行った。自然音の特徴を解析していく中で自然音には非整数次倍音が含まれていることがわかった。非整数次倍音を心地よく感じる理由は微妙なゆらぎを持つことが挙げられる。本研究は非整数次倍音を安定して出す方法を確立することを目的としている。

1. はじめに

1.1 研究の目的

現代社会の人々は日々の多忙な生活の中で多大なストレスを受けている。そのストレスを緩和させようとヒーリングミュージック、特に自然音に着目し自然音を解析しその特徴に楽器の出す音を近づければ、心地よい音を出すことのできる楽器の製造方法を確立する事ができると考え研究を開始した。

2. 予備実験

2.1 実験方法

自然音を録音した音声をpythonで音声解析しスペクトログラム化する
調べた音声

心地よい音(自然音)

- ・川が流れる音
- ・鳥のさえずり
- ・木々のざわめき

不快音

- ・虫の羽音
- ・黒板の引っかく音

参考音

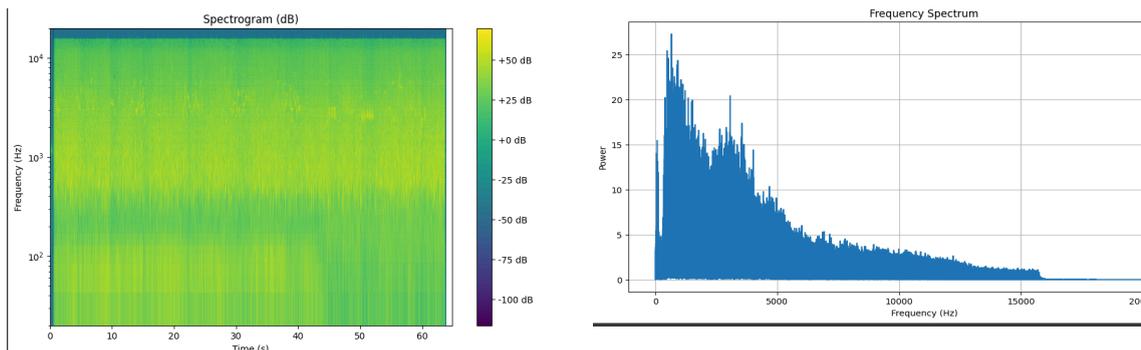
- ・人の話し声

2.2 結果

左のグラフは横軸:時間(s)、縦軸:周波数(Hz)、色:振幅(dB)

右のグラフは縦軸:振幅(相対的な音の大きさ)、横軸:周波数(Hz)を示す

1. 川が流れる音(1) 図1 川が流れる音(1)のスペクトログラム



2. 川が流れる音(2)

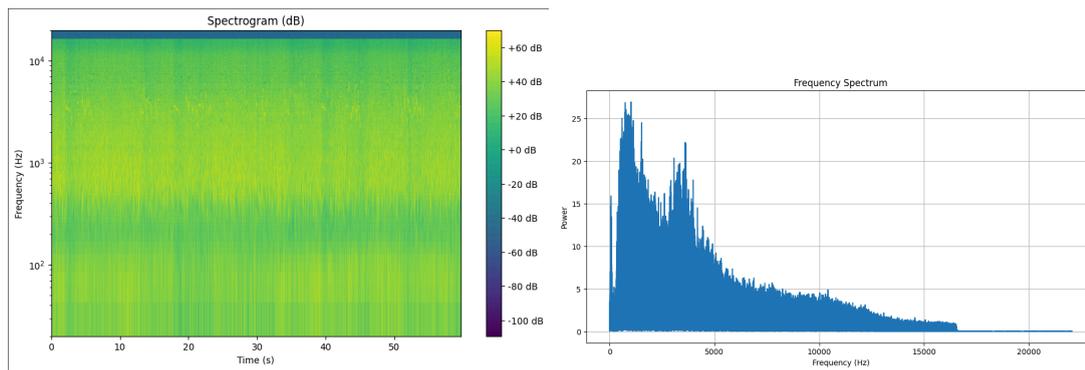


図2 川が流れる音(2)のスペクトログラム

3. 川が流れる音(3)

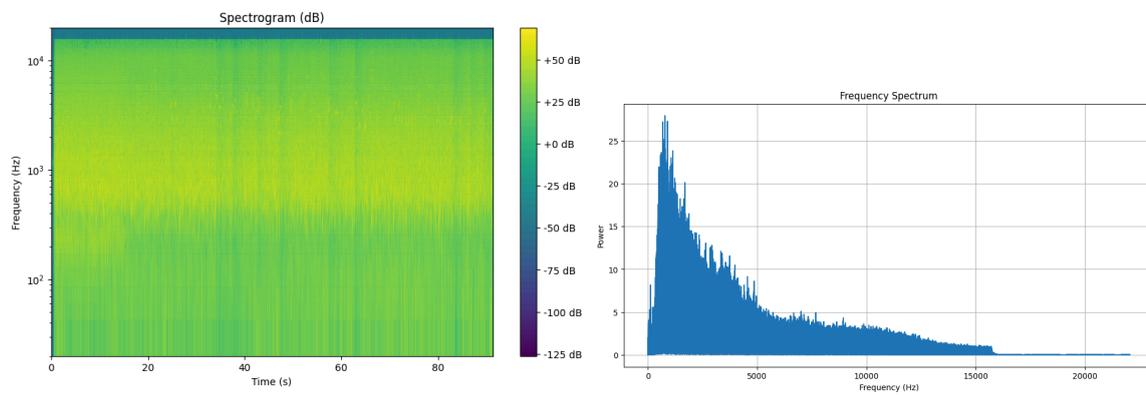


図3 川が流れる音(3)のスペクトログラム

4. 鳥のさえずり

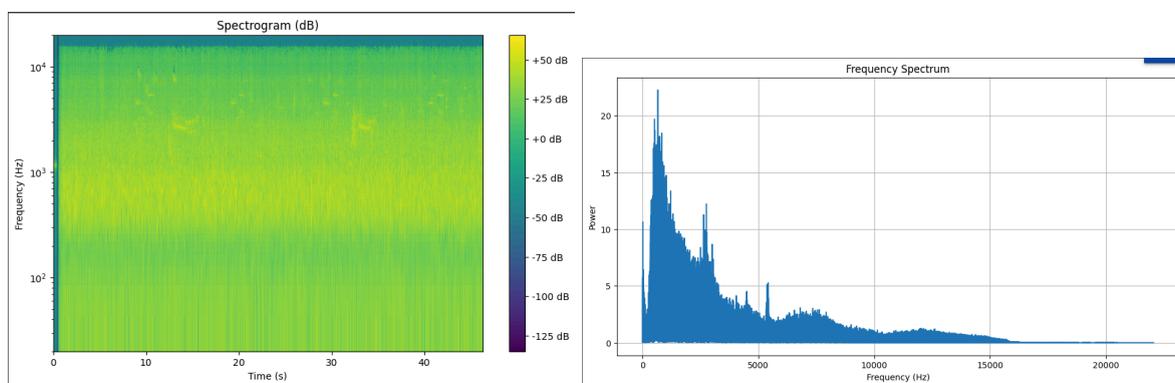
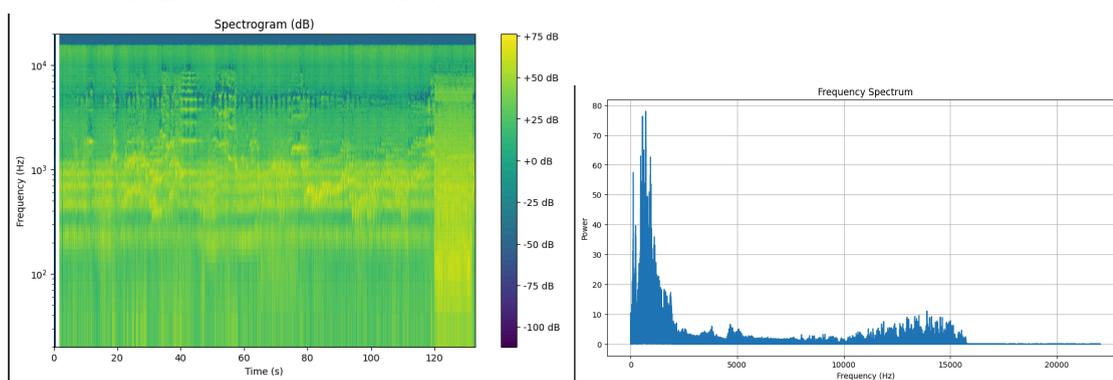


図4 鳥のさえずりの音のスペクトログラム

5. 虫の羽音

図5 虫の羽音のスペクトログラム



6. 参考音(人の話し声)

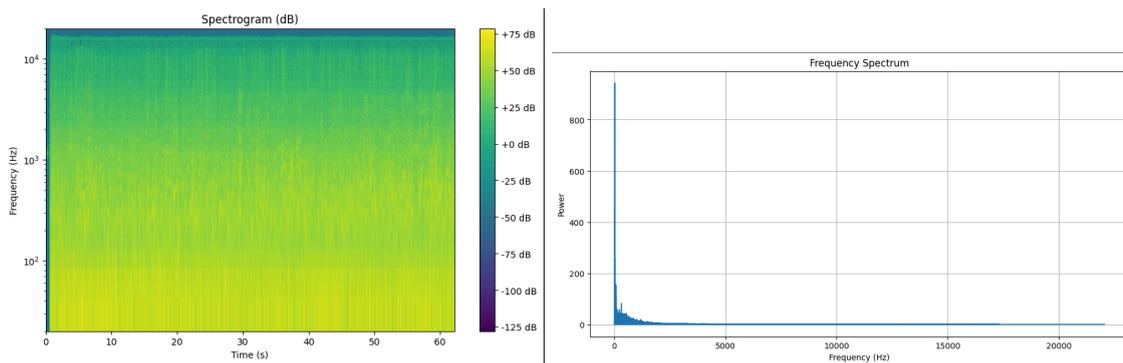


図6 人の話し声のスペクトログラム

不快音と比較して、心地よい音の特徴は

- ・100~2,300Hzの音圧が小さく、1000Hz付近の音圧が大きい
- ・同じ周波数の音が連続的に流れる
- ・得られる周波数の高低にムラがあまりない

2.3 考察

心地よい音の周波数が比較的低い周波数の音圧が大きく、整数次倍音と非整数次倍音のブレンドによって構成されていることがわかった。(非整数次倍音とは発生する倍音が基音に対して非整数倍の倍音のこと)

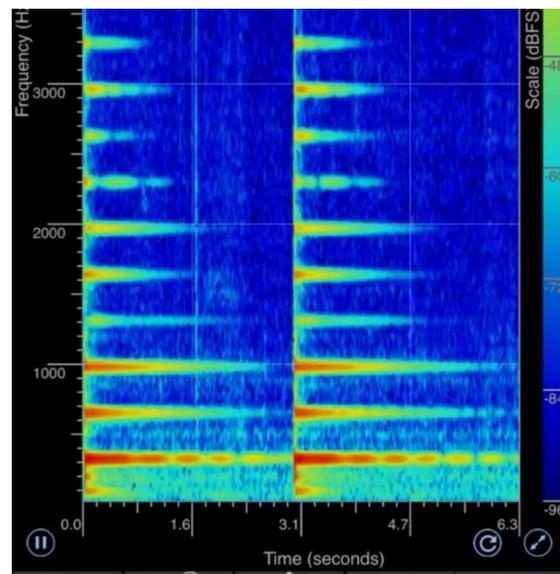
3. 実際に楽器を作る

予備実験によって判明したように自然音の特徴である非整数次倍音を出すことのできる楽器を作成する手段を模索する。

楽器を作るに当たって調べるべきことは以下の2つである。

- ①ボディの材質は何が適しているか？
- ②どのように非整数次倍音を出すか？

①に関して非整数次倍音を出すに当たって非整数次倍音もあくまでも倍音であるから整数次倍音がきれいになるのであれば非整数次倍音もきれいに出るのではないかと考え、楽器としての指標を倍音がいかにきれいに出ることに設定した。



特に左の図7のギターのスペクトログラムのように一音が長く響くことと倍音が多いことに設定した。

縦軸: 周波数 (Hz)
横軸: 時間 (s)
色: 振幅 (dB) を示す

図7 ギターの音のスペクトログラム

3.1 第一実験

3.1.1 目的

3で設定した指標を満たすボディの材料を特定する

3.1.2 実験方法

図8のように形を揃えて牛乳パック、段ボール、プラスチックで作ったボディに同一の弦を張りそれぞれのスペクトル・周波数の様子を解析する。

3.1.3 実験条件

幅: 7.0cm

奥行き: 19.5cm

高さ: 7.0cm

共鳴胴 縦: 10cm

横: 6.0cm

弦: テグス

張力: 2.50kgの重りを吊るす

3.1.4 実験風景

牛乳パック

段ボール

プラスチック



図8 第一実験の様子

3.1.5 結果・考察

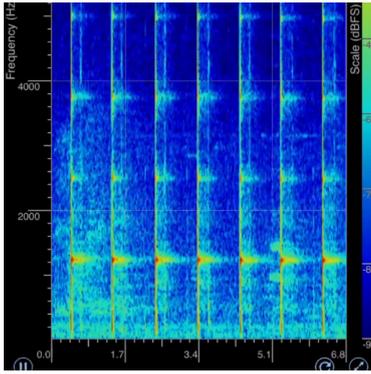


図9 牛乳パックの
スペクトログラム

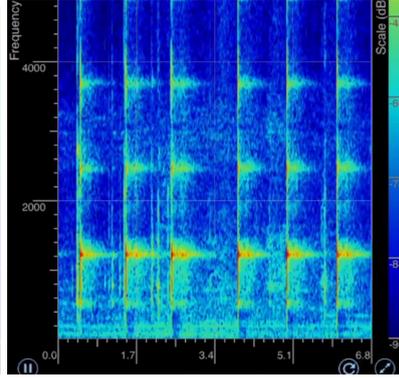


図10 段ボールの
スペクトログラム

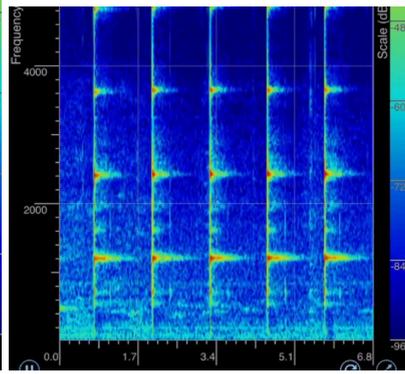


図11 プラスチックの
スペクトログラム

図9~11より3つの中で倍音が最もきれいに、多く響いているのはプラスチックであると
考えられるから、ボディに最も適しているのはプラスチックである。

4. 非整数次倍音の発生原因の特定

実際に非整数次倍音が出ていると言われている楽器にはアコースティックギターや三線
があると言われている非整数次倍音が発生する原因と考えられていることは以下のこと
である。

- ・鉄弦と鉄フレットが衝突したときの音(アコギ)
- ・弦の剛性による周波数のズレ
- ・三線の駒による影響
- ・三線の蛇皮との共鳴
- ・指で抑えることの影響
- ・弦の張力変化

上記の中でも鉄弦と鉄フレットの衝突音と、弦の剛性による周波数のズレに着目するこ
とにした。

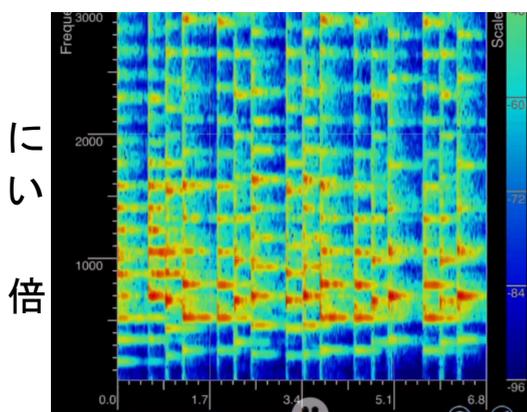


図12 三線のスペクトログラム

4.1 第二実験

まず調べる2つのうち鉄弦と鉄フレットの衝突について調べた。

左の図12のスペクトログラムは実
際非整数次倍音を出していると言
われている三線のスペクトルである。

実際に基音に対して整数倍ではな
い音が認められる。

4.1.1 実験内容

図13,14のようにボディに牛乳パックを使用し、弦に金属弦である銅線を使った楽器を金属フレットと見立てたクリップをフレットにつけたときとつけていないときでスペクトルを比較する。

ボディ・弦は全く同じものを使用、張力も揃える。

4.1.2 実験風景



図13 フレットにクリップをつけたときの様子



図14 フレットにクリップをつけていないときの様子

4.1.3 結果

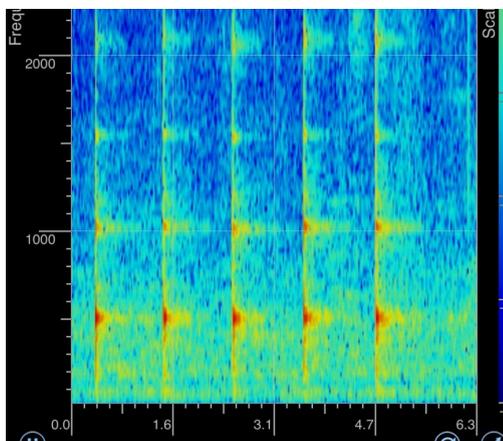


図15 クリップをつけた際のスペクトログラム

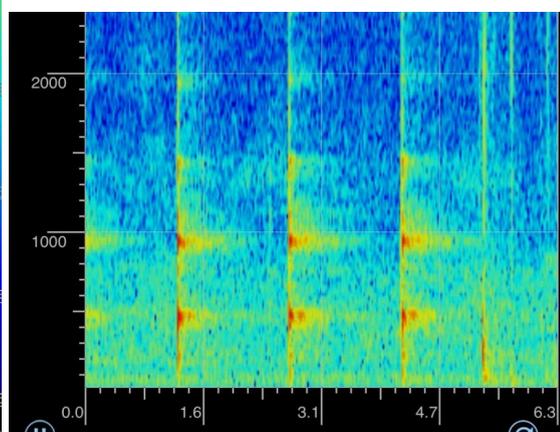


図16 クリップをつけていない際のスペクトログラム

図15,16より2つのスペクトログラムはどちらも整数倍の倍音でほぼ変わらない結果が得られた。

4.1.4 考察

フレットにクリップをつけたときとつけていないときで倍音のスペクトログラムの様子があまり変わらなかったことから金属弦と金属フレットの衝突音によって非整数次倍音が発生するわけではないと考えられる。

4.2 第三実験

剛性の違う弦のスペクトログラムを調べる。

4.2.1 実験方法

ボディにプラスチックを使用し弦をテグス(ナイロン)、亜鉛メッキの針金、ステンレス鋼の針金、プラゴム(ポリウレタン)で変化させてスペクトログラムをとる。

4.2.2 実験条件

ボディの条件は第一実験と同様。

弦の剛性は

- ・テグス(ナイロン) : $1.2 \times 10^{-5} (\text{Pa} \cdot \text{m}^4)$
- ・亜鉛メッキ : $6.2 \times 10^{-3} (\text{Pa} \cdot \text{m}^4)$
- ・ステンレス鋼 : $6.4 \times 10^{-3} (\text{Pa} \cdot \text{m}^4)$
- ・プラゴム(ポリウレタン) : $3.4 \times 10^{-5} (\text{Pa} \cdot \text{m}^4)$

剛性の高さは ステンレス鋼 > 亜鉛メッキ > プラゴム > テグスという順序になる。

4.2.3 実験結果

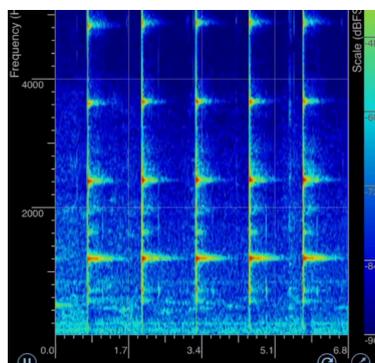


図17 テグスの
スペクトログラム

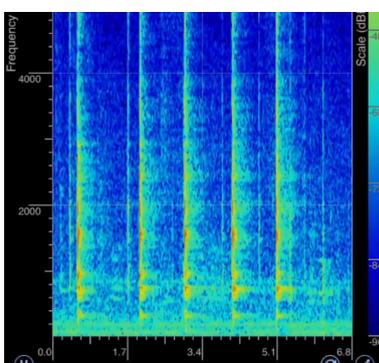


図18 亜鉛メッキの
スペクトログラム

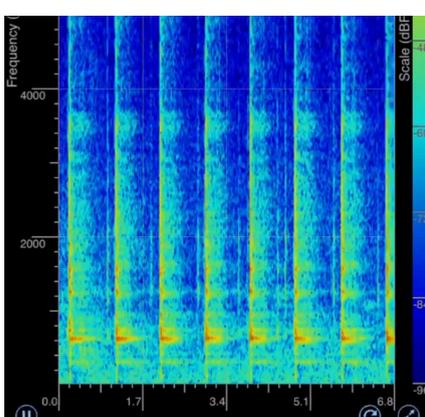
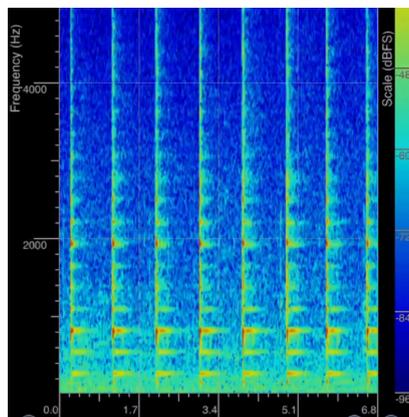


図19 プラゴムの
スペクトログラム

図20 ステンレス鋼の
スペクトログラム

図17よりテグスは整数次倍音

図18より亜鉛メッキは2,3つめの倍音が整数次でない

図19よりプラゴムは整数次倍音

図20よりステンレス鋼は3つめの倍音が整数次でない
ことが読み取れる。

4.2.4 考察

剛性が比較的低い弦で整数次倍音が、比較的高い弦で非整数次倍音が出ていると言える。

実際に弦の剛性によって倍音のズレが生じ、非整数次倍音が発生していると考えられる。

5. 結論・展望

非整数次倍音を出せる楽器はボディをプラスチック、弦は剛性の高い金属弦で作ると良いと考えられる。

謝辞

群馬県立高崎高等学校教諭の飯野道彦先生及び金谷学先生にはゼミ担当として大変お世話になりました。心より感謝申し上げます。

参考文献

1) 自然音がストレスを軽減させる

https://tsukuba-tech.repo.nii.ac.jp/record/105/files/Tec26_1_33.pdf

2) アコースティックギターの非整数次倍音

<https://www.otslab.jp/post/ots-basic-research-01>

3) 三線の非整数次倍音

<https://mymicrotonalpiano.com/reflection/AR/EchoesOfYouth.html>

4) 剛性の計算方法

https://indico2.riken.jp/event/3523/contributions/15222/attachments/9705/13530/20201016_rigidity_MiuMoirta.pdf