

楽器の共鳴と強制 振動を区別しよう

足利 裕人

固有振動

- 物体は、その大きさ、形、材質などによって決まる**固有振動数**を持つ。そのときの振動を**固有振動**という。
- 固有振動数で物体に周期的な力を加え続けると、物体の振幅やエネルギーは次第に大きくなる。
 - エネルギーが有効に伝わる
 - この現象を**共振**または**共鳴**という。



固有振動

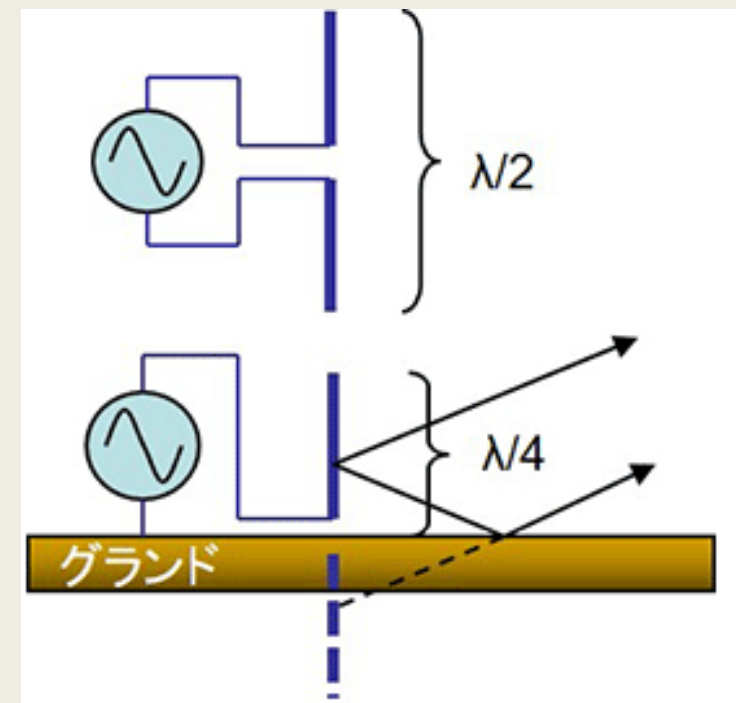
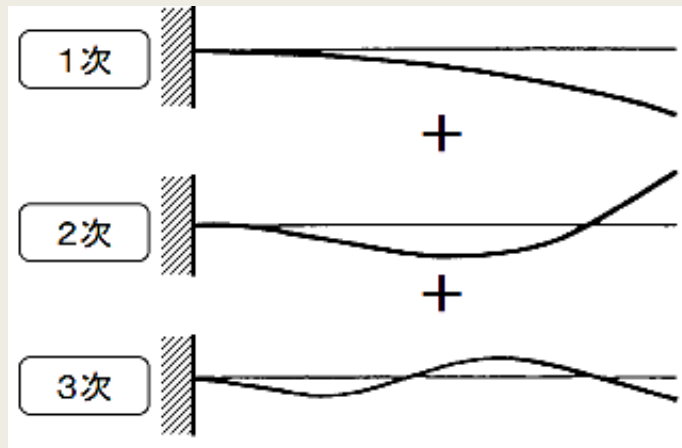
■ 質量の違いを公園で実験

- 倒立ばね振り子は
周期が質量に関係
- ぶらんこ（単振り
子）はおもりの質
量に周期は無関係

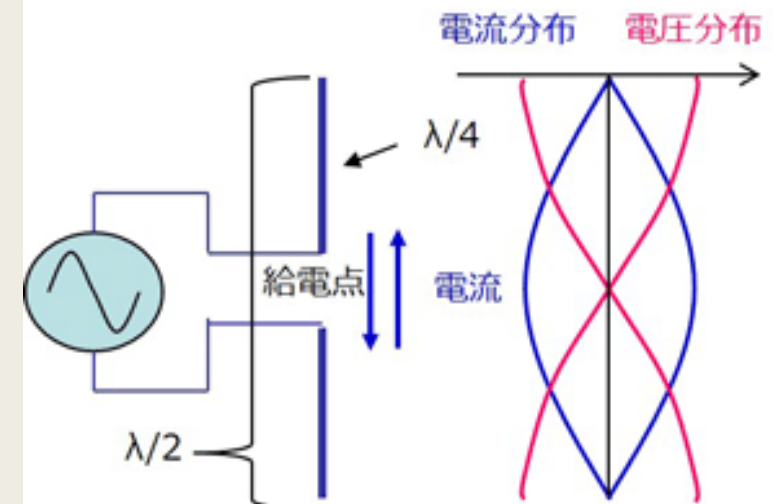


アンテナの固有振動

- 棒の振動とロッドアンテナ
 - 半波長 ($\lambda/2$) ダイポールアンテナ
 - 長さが半波長の時、アンテナと送信電波が**共振状態**になり、最大電力が放射される。
 - 受信においても受信電波とアンテナが**共振状態**になり最大電力を受け取る
 - 接地型 $\lambda/4$ モノポールアンテナ
 - IoT技術情報サイトより
 - 片持ち梁の振動



半波長ダイポールアンテナ



共振・共鳴の実験

- 音叉を共鳴させる
 - 声で音叉を鳴らす
- 口琴
- 離れたビンの上のアルミ箔を落とす
 - ビンの上のろうソクの火の動きを観察
- 教育と固有振動
 - すべての子供に響く教育を



タコマ橋の崩落

- 米国ワシントン州のタコマ橋は完成後、わずか4ヶ月のうち毎秒19m/sの横風のために崩壊した。横風による橋の自励振動が原因であった。
- メカニズム
 - 桁の端で空気の剥離が起こり、生じた渦の発生タイミングが橋桁の動きと一致した。

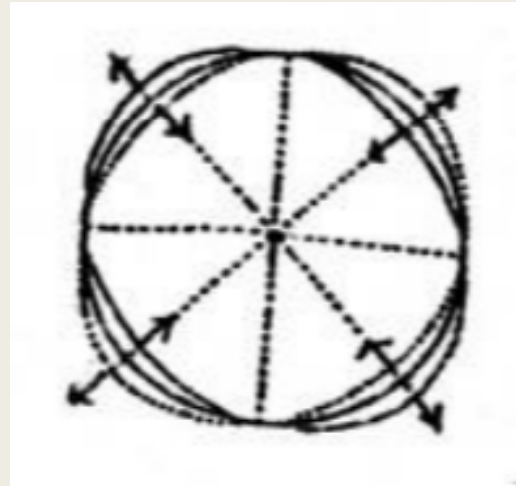


魚洗鍋とシンギングボールの振動

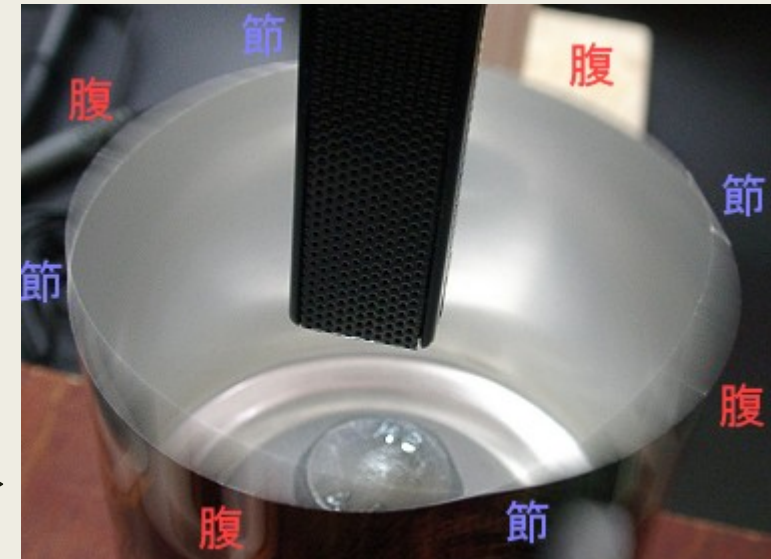
■ 4箇所でしぶき

- 基本振動

- 馬目氏の論文より →

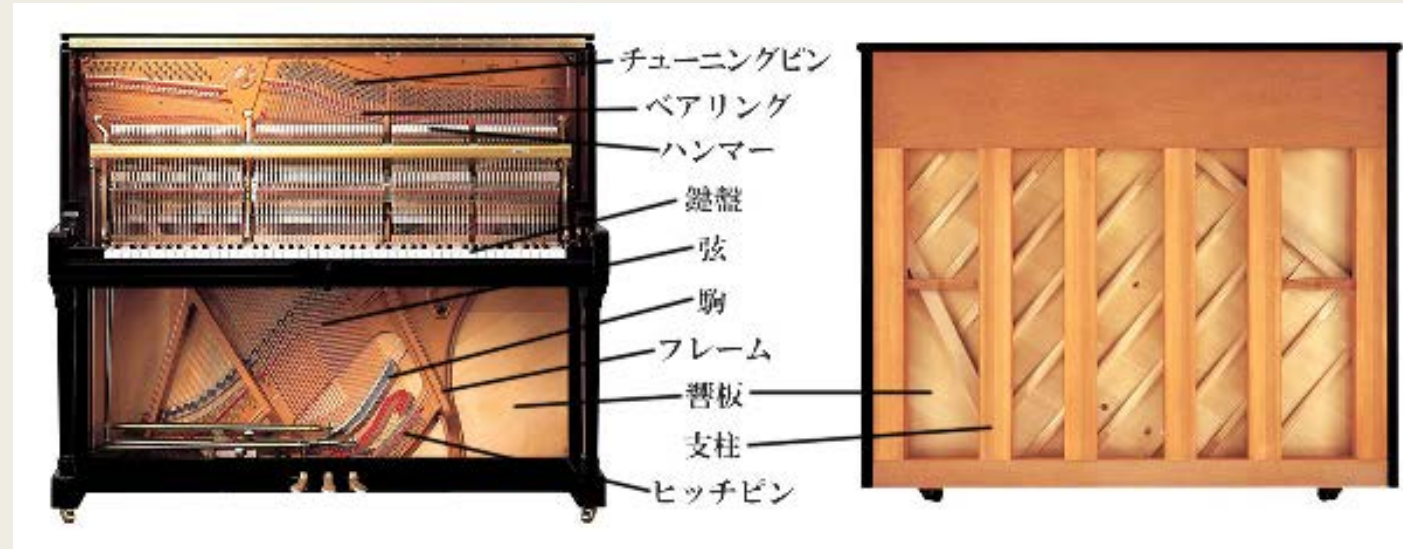


岐阜物理サークルより →



音を大きくするしくみ

- 広い空間に効率よく音を伝える → 音響インピーダンスを近づける
- 面積を広げる 強制振動
 - 音叉を鳴らして机や壁に押し付ける
 - ピアノの響板
 - バイオリン等弦楽器の胴
 - 昔の蓄音機のチューリップ, 電源不要のiphoneの拡声器
 - トランペット等の金管楽器



弦楽器は共鳴ではなく強制振動による響鳴

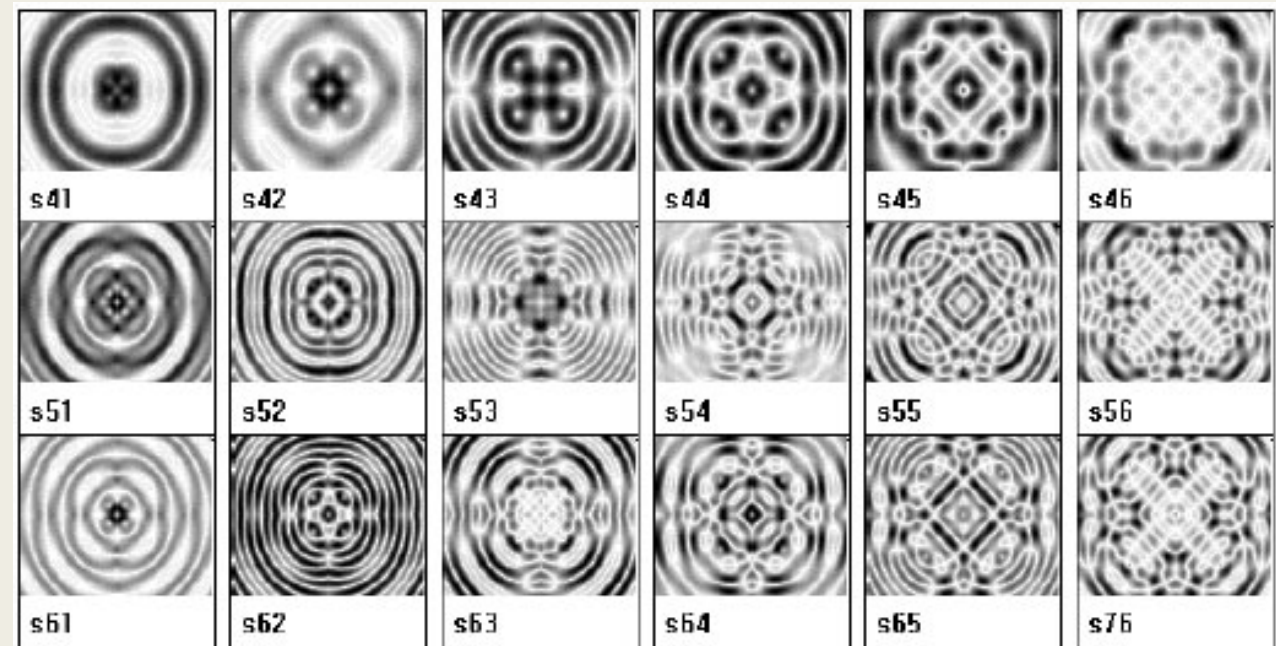
- 全ての物体は、その大きさや形や密度等による固有振動数を持つ
- 全ての音階に共鳴する胴は作れ無い
- 演奏する音が楽器の固有振動数からずれるようにする
→ ウルフサウンド → おもりで調整
- 共鳴を完全に無くしたのは電子楽器 → エレキギター
- ピアノのそばでくしゃみすると、響板が振動し、全ての弦が鳴る



弦楽器の基本は強制振動

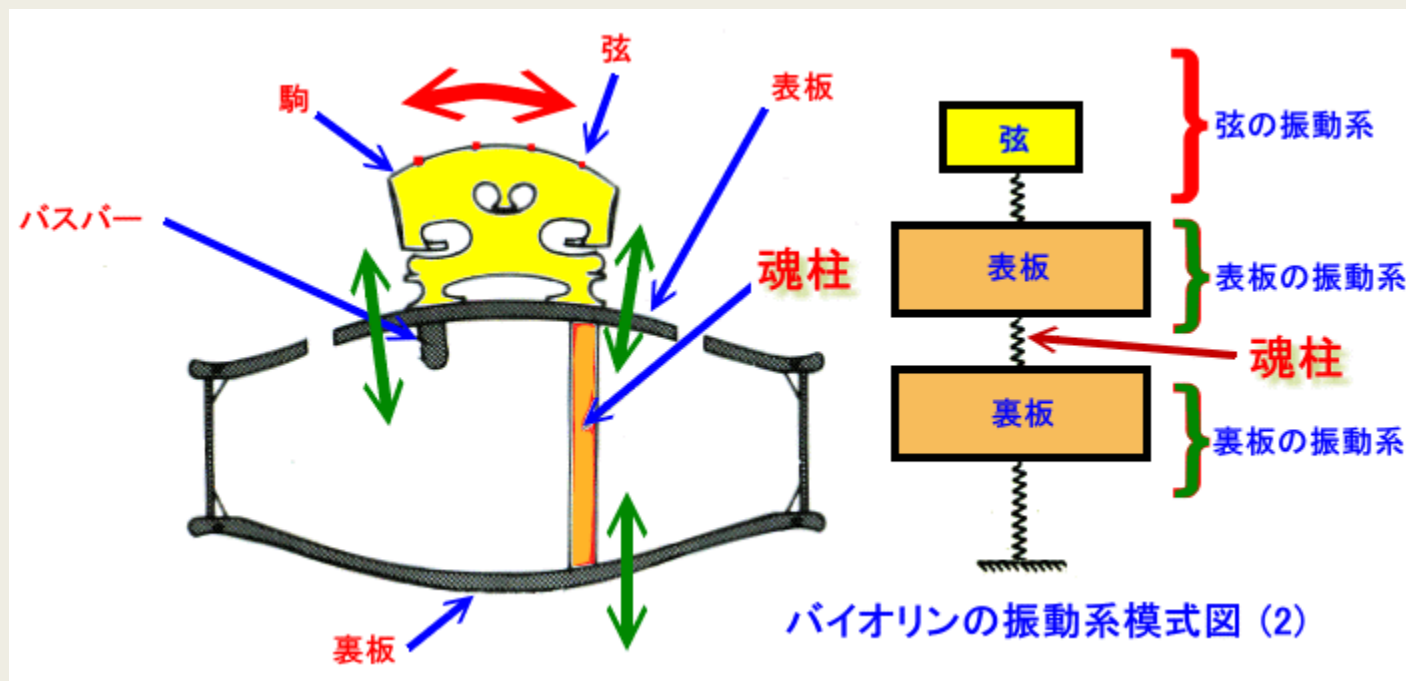
微妙な音色は固有振動のミックス

- クラドニ図形は、ドイツの物理学者クラドニが開発した。
- クラドニはドラムの表面に砂を乗せて皮を振動させ、シンメトリーの模様を得た。
- それらの模様は、バイオリンの弦のさまざまな和音の波形に相当する。



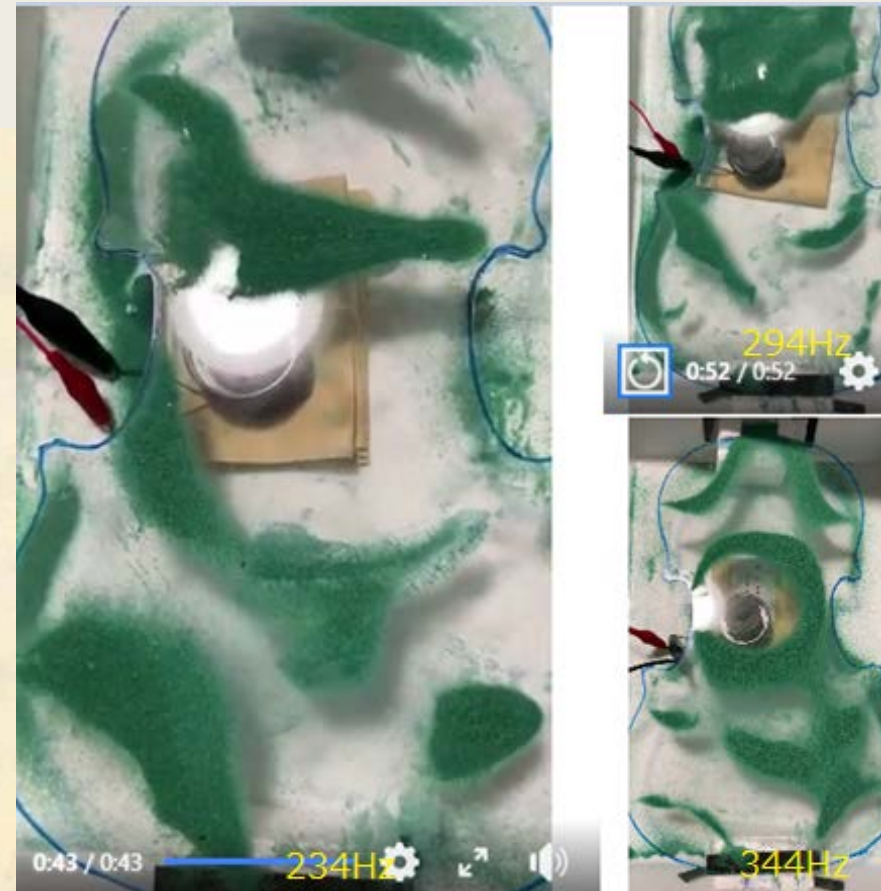
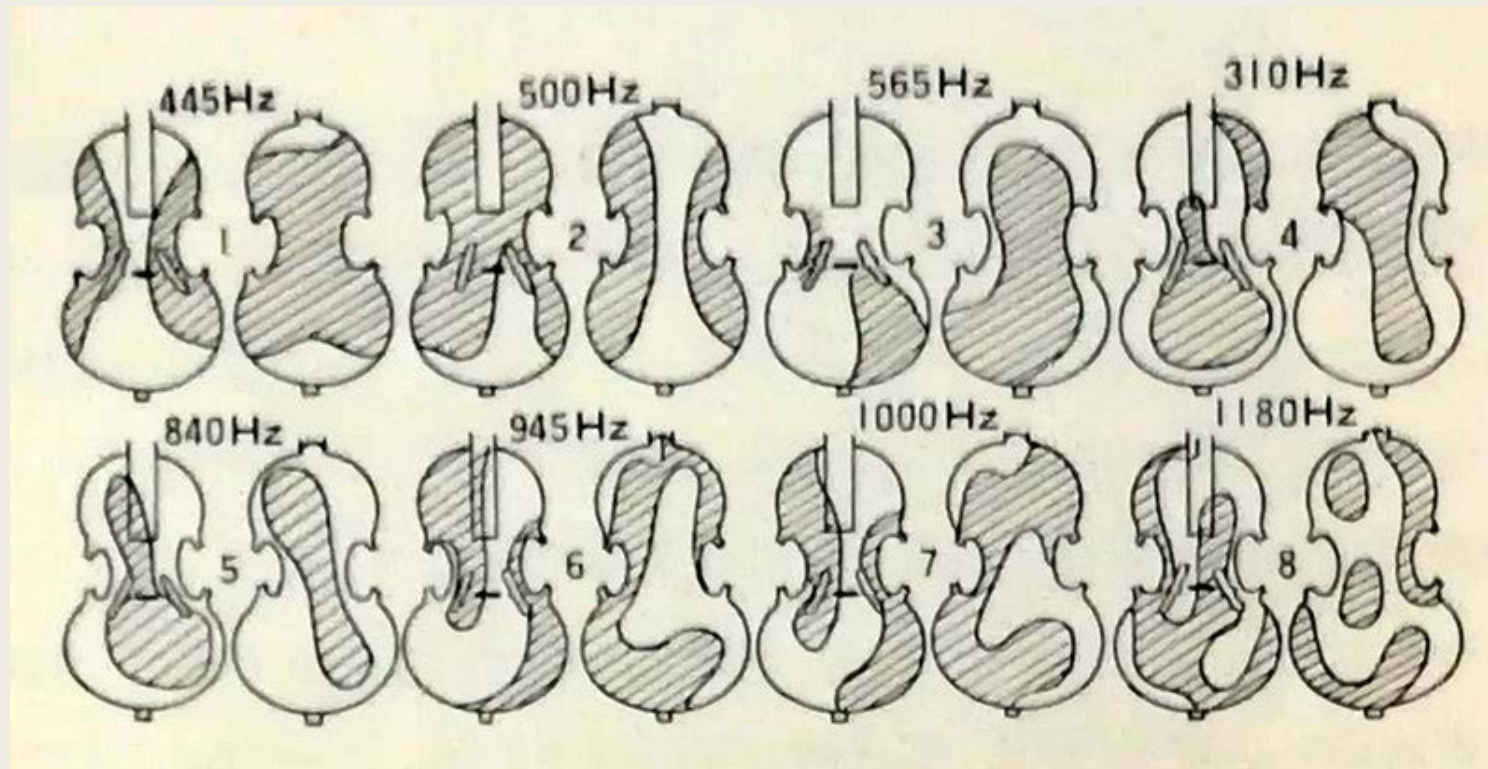
バイオリンの構造

- **魂柱**は、表板の振動を裏板に伝達する
- 表板、裏板を削って、厚みを調整する方法の最も一般的な方法は、板を指で叩いて、その時の振動の音から、板厚を調節する。
- バイオリンの表板や裏板は、弦の振動によって、**強制的に振動させられている**。
- **表板と裏板の固有振動数が同じだった場合、位相は逆**でお互いの振動を打ち消す。
 - バイオリンの弦を指ではじくピッチカートだと、ポンと直ぐに音は止まってしまう。
 - ギターには魂柱はないため、表板、裏板は相互の振動を打ち消しあわないため、一度始まった振動が長続きする。



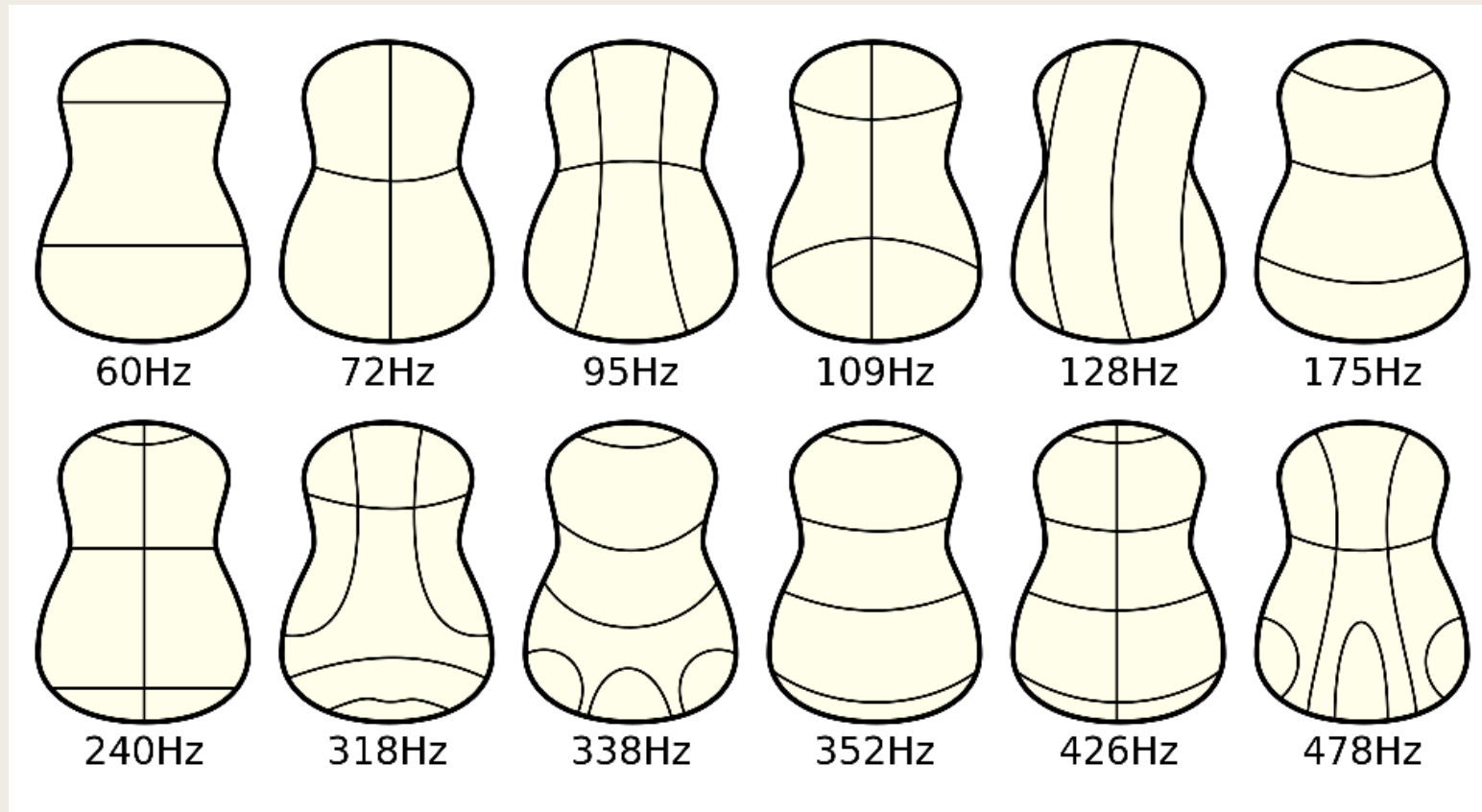
■ バイオリン胴板の振動モード 小橋,時田, 日本音響学会誌, Vol.8,p.15,'52

- 白い部分と斜線部分は振動方向が逆
- 斜線との境界線が節線
- 周波数が上がるにつれて細かい領域に分かれて行く
- **楽器は特別な共振域ができないよう設計されこのような形になる**



Chladni modes of a guitar plate

ギターの胴は左右対称に近い振動を行う



ウルフトーン

- 特定の音を弾いているとき、弦の振幅が不安定になり、狼の鳴き声のように聞こえることからウルフトーンと呼ばれる。
- 特に弓でアップで弾いているときになりやすく、ウルフトーンがよく使う音上にあるととても弾きづらくなる。
- コントラバスだと、ファからシの音の間に出ることが多い。
- ウルフトーンを軽減する駒とテールピースの間につける金具「**ウルフキラー**」というパーツが有る。
- **演奏に影響の少ない音に取り付ける。**



管楽器は気柱の共鳴

- 管の口で渦を発生し，気柱に共鳴させる
- 渦はホワイトノイズ（いろんな振動数）→ 気柱に共鳴させて音階を作る
 - 尺八
 - フルート
 - サンポーニャ
- 打楽器や鍵盤楽器との組み合わせ
 - シロホン
 - パイプオルガン

