

# 微分音とは何か なぜ微分音なのか

...

12平均律を越えた音楽理解を目指して

# 微分音って何だ？

鍵盤にない音 鍵盤の隙間にある音 ※チューニングずらしと異なる

数学的な「微分」とは無関係

(由来 全音→半音→四分音→…微分音)

定義があいまい

基本的にはフレットのない弦楽器や  
トロンボーンなどが演奏可能

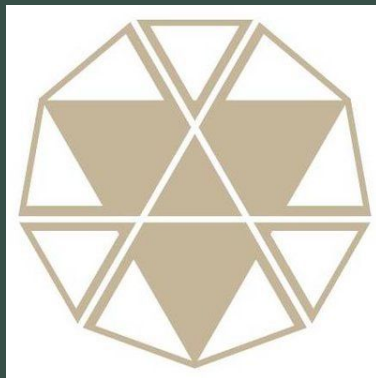


# Xenharmonicって何だ？

ゼンハーモニック音楽

非12平均律の音楽全般

Ivor Darregにより1967年頃命名  
ギリシア語の「異質」を意味する  
「ξένος」が由来



- 微分音の旨味
- 微分音の入門的知識
- 微分音の鳴らし方
- 微分音演奏楽器/ハードウェア

# 微分音の旨味

# どんないいことがあるか

新たな協和の可能性の模索

既存の音楽システムの再確認

既存の西洋の調性音楽システムからの脱却

既存の西洋の調性音楽の問題点の打破

# 新たな協和の可能性の模索

音楽の聴覚的な協和は単純な周波数比に近い音程

音程と周波数比の例

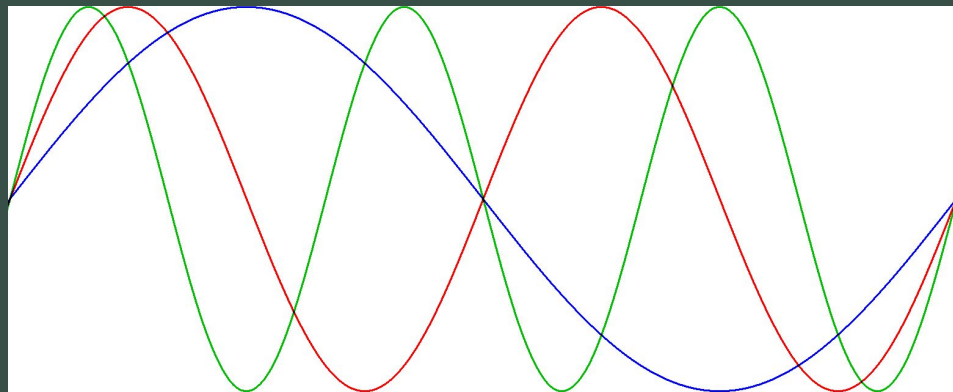
完全5度 → 2 : 3 

完全4度 → 3 : 4 

長3度 → 4 : 5 

短3度 → 5 : 6 

長6度 → 3 : 5 



少し複雑な音程を使うことも視野に入れることができる

自然7度 → 4 : 7 

中立3度 → 9 : 11 

# 新たな協和の可能性の模索

和音の乱雑さであり、不協和度の指標

「ハーモニック・エントロピー」

協和を認知する精度が高いと、  
新たな協和音程が12平均律外に  
点在するように見てとれる。

人によって様々な知覚の精度を選んで  
定義が作成されているため、  
様々な数式定義がなされる。

例：ハーモニック・シャノン・エントロピーの  
定義に基づく不協和度の計算結果

$$H_1(J|c) = - \sum_{j \in J} P(j|c) \log P(j|c)$$

※1 ある音程を特定の純正音程として知覚する確率分布は、標準偏差8.5¢程度のカウス分布である。(σ≒8.5¢)  
※2 算出に使用する純正音程Jは、Tenney調和距離において10000までのものに限る。(N=10000)





# 既存の音楽システムの再確認

西洋音楽・民族音楽

あらゆる音楽についてのシステムを復習し、  
その仕組みを音律の側面から解剖






ソルフェージュ(音楽感覚)の向上  
アナリーゼ(音楽解析)能力の向上

それらの民族音楽への適応



# 既存の西洋の調性音楽システムからの脱却

## 全音階的なシステムからの脱却・改造

- アラブの音階風(24平均律) 
- 全音と半音を入れ替えてみる(9平均律) 
- 全全半全全半全半(13平均律) 
- 全音：半音 = 4 : 1 (22平均律) 
- オクターブ使うのやめた(ボーレンピアース音律) 

# 既存の西洋の調性音楽の問題点の打破

12平均律に内在するずれの解消をめざす



# 既存の西洋の調性音楽の問題点の打破

・ 31平均律



・ 12平均律



31平均律の方が7音階ではハーモニックエントロピーの  
平均値が低く、よりよく協和して聞こえる

# 微分音の入門的知識

# 協和の正体 -聴覚的協和感-

簡単な周波数比、または低次の素因数による周波数比を持つ音程は生得的に  
快く聞こえることが示唆されている(聴覚的協和感という)

山本由紀子ら「協和感研究の動向と課題」2015年

人間以外にもネコやマカクザルにもあるとの報告あり

- ・ オクターブ等価性 - octave equivalence

周波数比が2の冪である音同士は、本質的に同じであるかのように聴取される

"Music". Vox Explained. Event occurs at 12:50. Retrieved 2018-11-01. When you ask men and women to sing in unison, what typically happens is they actually sing an octave apart.

1 オクターブごとに戻ってくる主観的な性質を  
トーン・クローマ - tone chromaと呼ぶ

※一部の研究ではオクターブ等価性は後天的とする説もあり

# 正確に鳴らしたいのに… temperamentsの始まり

周波数比で厳密に決めた音律「純正律」しかし・・・

和声と旋律の兼ね合いで破綻することも・・・

そこでオクターブを等分するなどして音律を改変(modify)し、問題を解消したい

ただしオクターブ等分音律などは正確な周波数比にならない

そこで極力簡単な周波数比に近似するものを選びたい

→自然倍音との近似精度が重要

Note	Name	C	D	E	F	G	A	B	C
	Ratio	1/1	9/8	5/4	4/3	3/2	5/3	15/8	2/1
	Cents	0	204	386	498	702	884	1088	1200
Step	Name		T	t	s	T	t	T	s
	Ratio		9/8	10/9	16/15	9/8	10/9	9/8	16/15
	Cents		204	182	112	204	182	204	112

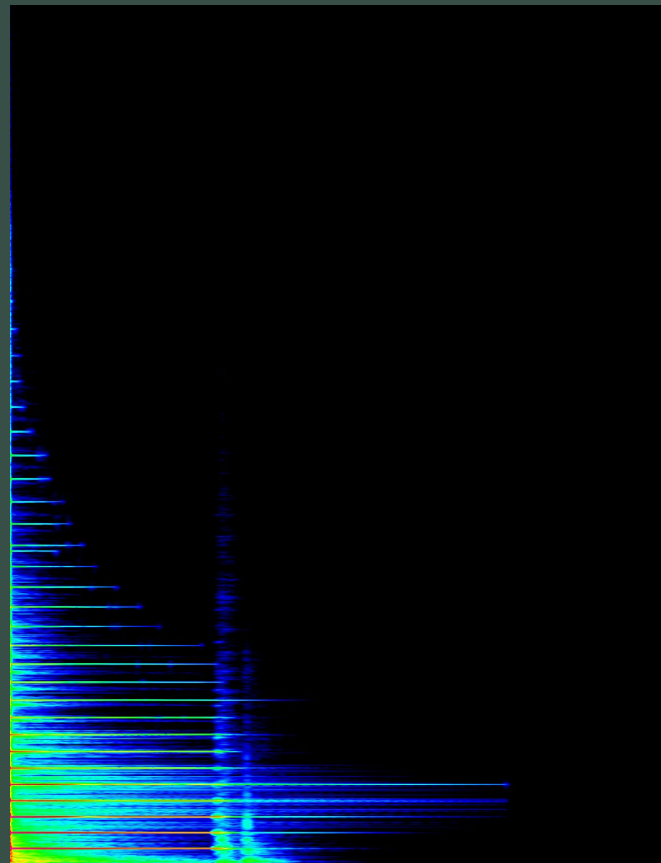
# 倍音とは

音色を形作る音の成分

音色は異なる高さの音が  
色々混ざりあって形作られている

ピアノの音の成分→

ラの音(440Hz)を出しているが、  
そのおよそ整数倍の周波数も同時に  
鳴っていることが解析からわかる





# 自然倍音列

周波数が整数次倍になる音の並び 音程に対して曲線になる

1番目 ド

2番目 ド↑

3番目 ソ↑ +0.02半音

4番目 ド↑↑

5番目 ミ↑↑ -0.14半音

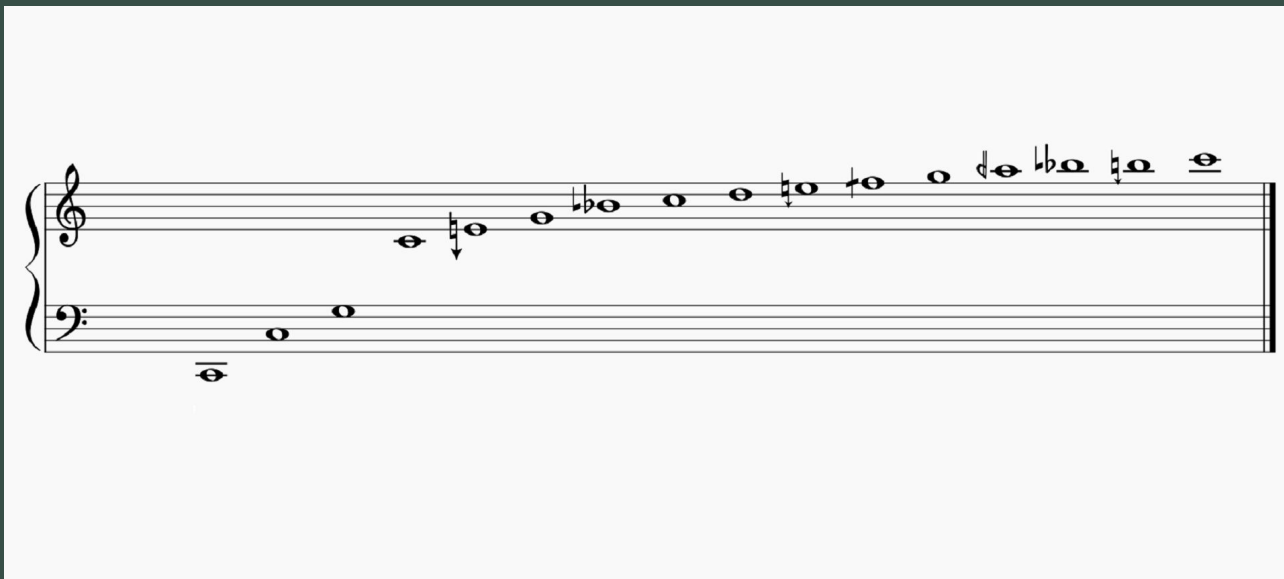
6番目 ソ↑↑ +0.02半音

7番目 ♭シ↑↑ -0.31半音

8番目 ド↑↑↑

9番目 レ↑↑↑ +0.04半音

拡張ヘルムホルツ・エリス純正音程記号による倍音列の表記(16倍音まで)



# 周波数比

周波数比は音程に対して指数関数的に対応

セント	半音	オクターブ	周波数比
1200	12	1	2
2400	24	2	4
3600	36	3	8
$1200n$	$12n$	$n$	$2^n$

# 周波数比

音程は周波数比に対して対数関数的に対応

周波数比	セント	半音	オクターブ
2	1200	12	1
4	2400	24	2
8	3600	36	3
3	1901.95500087...	19.0195500087...	1.58496250072...
$n$	$1200 \log_2(n)$	$12 \log_2(n)$	$\log_2(n)$

# 大事な数字 5選

対数の性質から、周波数比と音程の変換を暗算で

倍音を1オクターブ内に転回還元  
覚えやすいよう3桁のφにする

素数倍音のみを5個覚えればいい

3→702：みんな鬼

5→386：ごみやろう

7→969：泣く無給

11→551：いい551(蓬莱)

13→841：瞳はよい

$$1200\log_2\left(\frac{3}{2}\right) \approx 701.955$$

$$1200\log_2\left(\frac{5}{4}\right) \approx 386.314$$

$$1200\log_2\left(\frac{7}{4}\right) \approx 968.826$$

$$1200\log_2\left(\frac{11}{8}\right) \approx 551.318$$

$$1200\log_2\left(\frac{13}{8}\right) \approx 840.528$$

## 大事な数字 5選

試しに純正な長7度(8 : 15)を計算してみる  
大体11半音くらいになるはず

$$1200\log_2\left(\frac{3}{2}\right) \approx 701.955$$

$$1200\log_2\left(\frac{5}{4}\right) \approx 386.314$$

$$1200\log_2\left(\frac{15}{8}\right) = 1200\left\{\log_2\left(\frac{5}{4} \times \frac{3}{2}\right)\right\}$$

$$= 1200\log_2\left(\frac{5}{4}\right) + 1200\log_2\left(\frac{3}{2}\right)$$

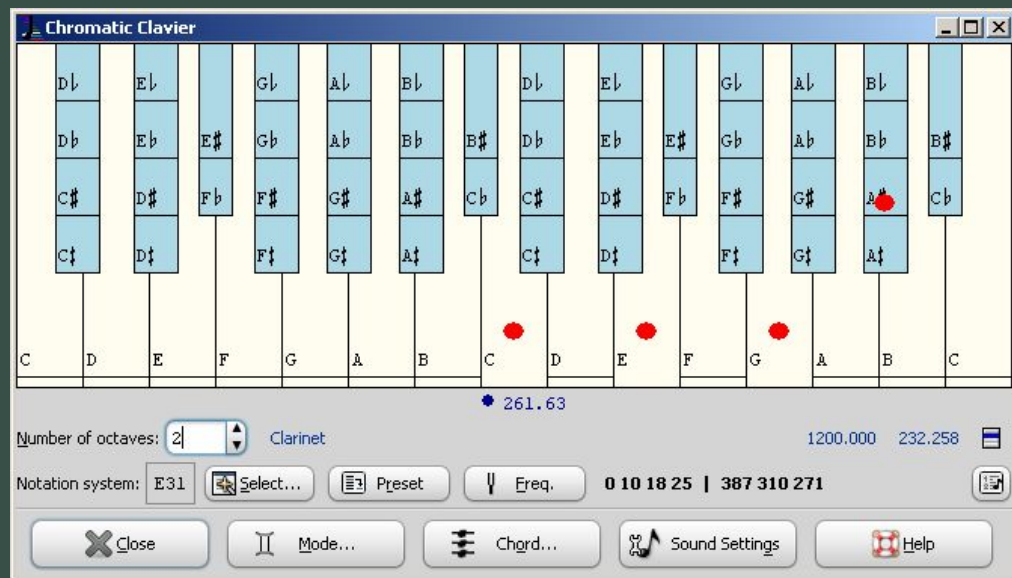
$$\approx 386.314 + 701.955 = 1088.269$$

# 微分音の鳴らし方

# Scala (ソフトウェア)

Huygens-Fokker財団により運営されている

調律データ形式「.scf」を築いたソフトだが今やオワコン







# ウェブアプリ - Scale Workshop

直接鳴らせる他、VSTプラグインのチューニングデータが出力可能

scI形式+kbm (.scI .kbm)

anamark tun形式(.tun)

kontaktスクリプト等(.txt)

The screenshot displays the Scale Workshop web application interface. The top navigation bar includes tabs for 'Build Scale', 'Analysis', 'Lattice', 'Virtual Keyboard', 'Synth', 'MIDI I/O', and 'Preferences'. The main content area is divided into several sections:

- Scale data:** Shows '31 equal divisions of 2/1' with 'New scale' and 'Modify scale' buttons.
- Tuning:** Displays 'Base frequency' as 261.6255653005986 Hz and 'MIDI note for base frequency' as 60 (C4).
- Key colors:** A list of key colors (white, black, white, black, white, black, white, black, white, black, white, black) with an 'Auto' button.
- Table:** A table with columns '#', 'Freq', 'Cents', 'Ratio', and 'Name'. The 48th row is highlighted in green, showing a frequency of 130.813Hz, -1200.000 cents, a ratio of 0.500, and a name of 31#31.
- Export current settings:** A sidebar on the right with various export options like 'Share scale', 'Anamark v1 tuning (.tun)', 'Anamark v2 tuning (.tun)', 'Scala scale (.ascI)', 'Ableton scale (.ascI)', 'Max/MSP coll tuning (.txt)', 'PureData host tuning (.txt)', 'Kontakt tuning script (.txt)', 'Soniccuture tuning file (.nka)', 'Harmor pitch map (.fhw)', 'Sytrus pitch map (.fhw)', 'Korg Sound Librarian scale (.mnlgtuns + others)', and 'Deflemask reference (.txt)'.

# VSTプラグイン

## .tun形式

Spectrasonics - Keyscape  
Spectrasonics - Omnisphere 2  
Spectrasonics - Trillian  
Stone Voices - PolyGAS  
u-he - Hive 2 (ほかu-he製品)  
UVI - Falcon シリーズ  
Vital Audio - Vital (無料)  
Xfer Records - Serum

## .scf形式 ★印はKBM対応

AAS - Chromaphone 3 (ほかAAS製品)  
Dexed ★  
KV331 - Synthmaster シリーズ  
Modartt - Pianoteq ★  
Plogue - Sforzando  
(非オクターブ律でバグあり)  
Reveal Sound - Spire  
(キャリブレーション設定が2Hz刻みと荒い)  
Surge XT ★  
Vital Audio - Vital (無料)

# MPEによるピッチベンドの使用

MIDI Polyphonic Expression

ノート単位でのMIDIコントロール情報

扱いはピッチベンドで操作されることに注意

Fluid Pitchなどのソフトが採用

ただし目的は殆ど和音1音単位でのポルタメント等

(挙動が不安定な場合あり)

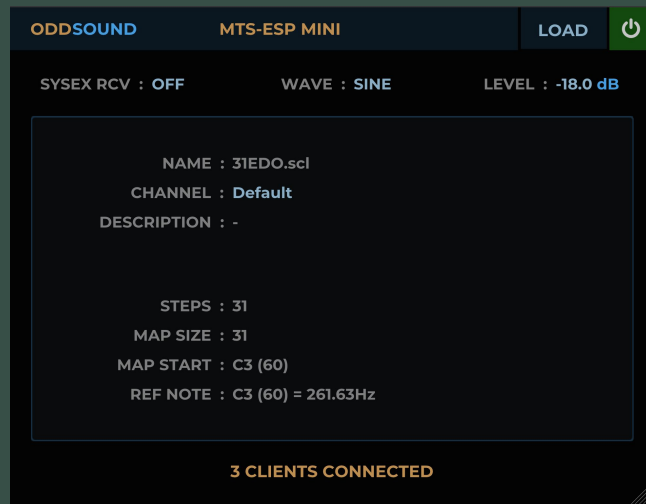
# MTSによるピッチ情報の送信

## MIDI Tuning Standard

MIDIの仕様の拡張であるSysExの信号をプラグインに送信  
対応するプラグインのピッチ変更を可能にする。

MTS-ESPなどのソフトが使用可能

(挙動が不安定な場合あり)



# 微分音演奏楽器 ハードウェア

鍵盤楽器・MIDIキーボード

# Fokker Organ (オランダ)

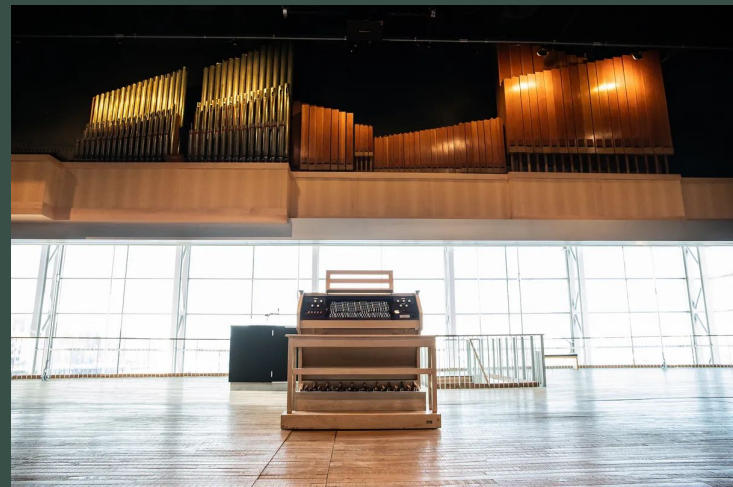
Adriaan Fokker氏が開発  
31平均律のオルガン

現在はオランダの  
Muziekgebouw aan 't IJ

(アイ音楽堂 Piet Heinkade 1 1019 BR Amsterdam)

小ホールに現存

あまりに巨大だったためFokkerによって  
後発の電子オルガン「Arcifoon」の開発に至る



# Motorola Scalatron (アメリカ)

電子オルガン George Secor氏の開発

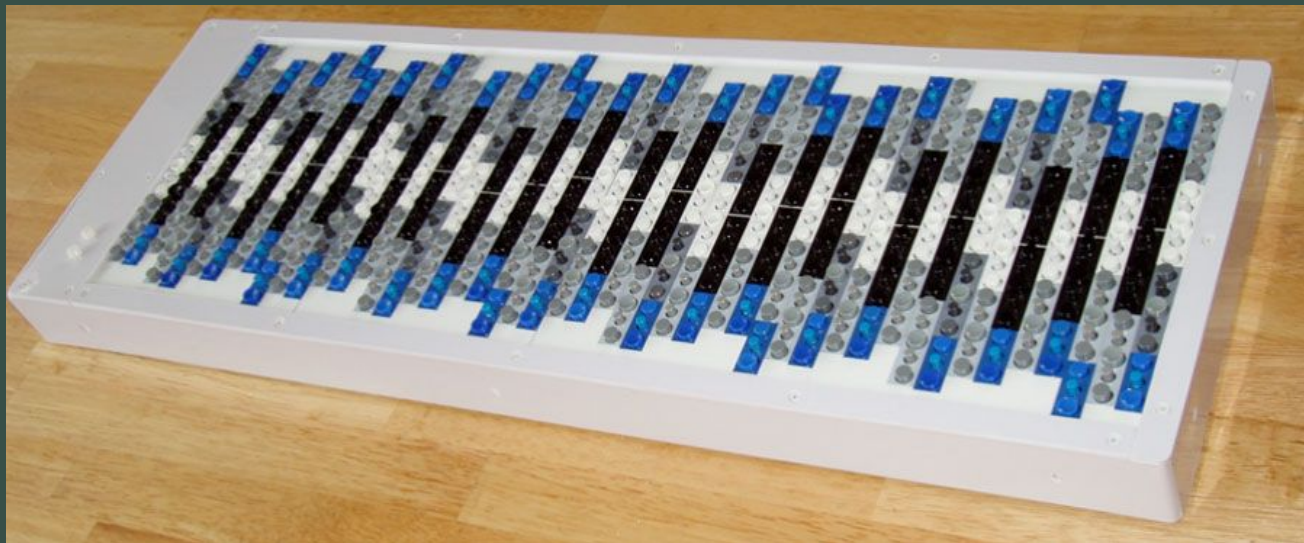
ハニカム構造のインターフェイスの生みの親  
後にEMEAPP社に寄贈された





## Tonal Plexus (2006~2014) 販売終了

オクターブあたり211ボタン(205音)を備えたキーボード  
主に41平均律の演奏を容易にする。



# Studio 31+による楽器 (スイス)

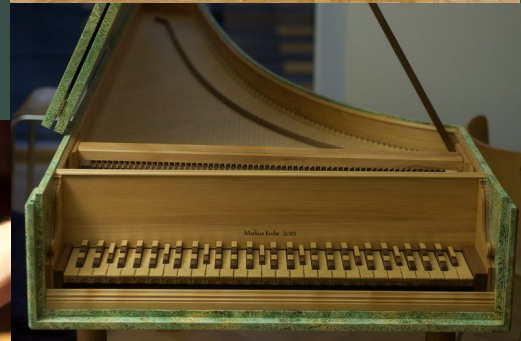
Arciorgano

Clavemusicum omnitonum

Cimbalo cromatico

Archicembalo

いずれも31平均律



# Vertical Keyboard 非売品 (アメリカ)

Elaine Walker氏開発  
様々な音律を個人で作成

画像はポーレンピアース音律用  
ほかに10平均律・16平均律用



# Axisシリーズ 現在販売ページエラー

Axis-49 / Axis-64

数字はオクターブ当たりの音数を操作可能なMIDIキーボード  
凡そ3オクターブほどの音域





Lumatone ~~4250~~→3850USD (54万円ほど)

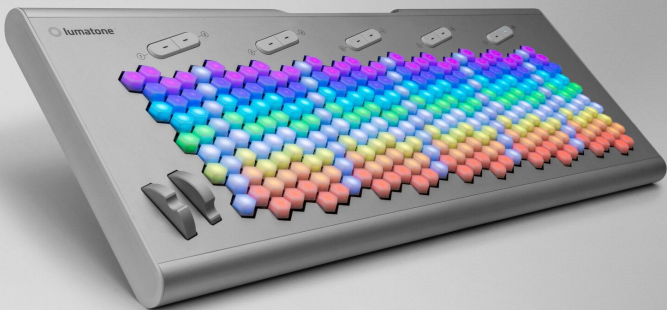
## MIDIキーボード

一つの鍵盤に任意のノートナンバーや色、  
チャンネルを割り当てることのできる

©Lumatone



Icefaceさん宅で  
実際に弾いてきました。



# フレット楽器

# 微分音フレットギター

周波数は弦の長さに反比例

フレット

押さえた弦の長さを一定にするパーツ

フレットをより細かく打てば

微分音を演奏可能

31平均律57フレットエレキギター  
中井三十一 / 石橋良市



# 可動フレットギター 要商談 (トルコ)

Tolgahan Çoğulu氏のフレット可動ギター  
様々な音律に対応可能  
クラシックギター・エレキギターなど  
数多くのギターを開発





# 管樂器

# Bohlen-Pierce クラリネット 非売品 (ドイツ)

ハンブルク音大のNora Louise Müller氏らが製作  
ボーレンピアース音律

偶数倍音を殆ど生じない楽器の特性から  
音律の性質がより活かされる



# トランペット(4ピストン) 非売品 (レバノン)

イブラヒム・マアロフ氏(ابراهيم معلوف)  
による特注トランペット

半々音下げピストンがついており  
ほぼ24平均律

アラブの音階を演奏するのに適



# まとめ

微分音で実現できるいいこと

- ・ 新たな協和の可能性の模索
- ・ 既存の音楽システムの再確認
- ・ 既存の西洋の調性音楽システムからの脱却
- ・ 既存の西洋の調性音楽の問題点の打破

## まとめ

3 → 702 : みんな鬼

5 → 386 : ごみやろう

7 → 969 : 泣く無給

11 → 551 : いい551 (蓬菜)

13 → 841 : 瞳はよい

# まとめ

## 鳴らし方

- Scale Workshopで音律ファイルを生成し、VSTに読み込み
- MTS-ESPを使用して対応プラグインをチューニング

# まとめ

## 演奏できる楽器の現状

- 鍵盤楽器はハニカム構造が多い
- フレット楽器はフレットの位置が音律に直結
- 管楽器は構造を見直さないと難しい

