

2013.6.26 学術総合センター

国立情報学研究所 2013年度 市民講座「未来を紡ぐ情報学」
第1回

音楽の情報処理と信号処理 ～作曲する機械・聴き分ける機械～

嵯峨山茂樹

国立情報学研究所 情報学プリンシプル研究系 特任教授

2014.3.31まで（この講演内容）

東京大学 大学院情報理工学系研究科 システム情報学専攻
工学部計数工学科システム情報工学コース

■ 鋭敏で重要な感覚

- 四つ足動物は嗅覚と聴覚で生き延びてきた？
- TVの映像だけ or 音声だけ: どちらを好む？
- アニメ: 画像は手描き・CGが可、音声は声優が必要

■ 音声

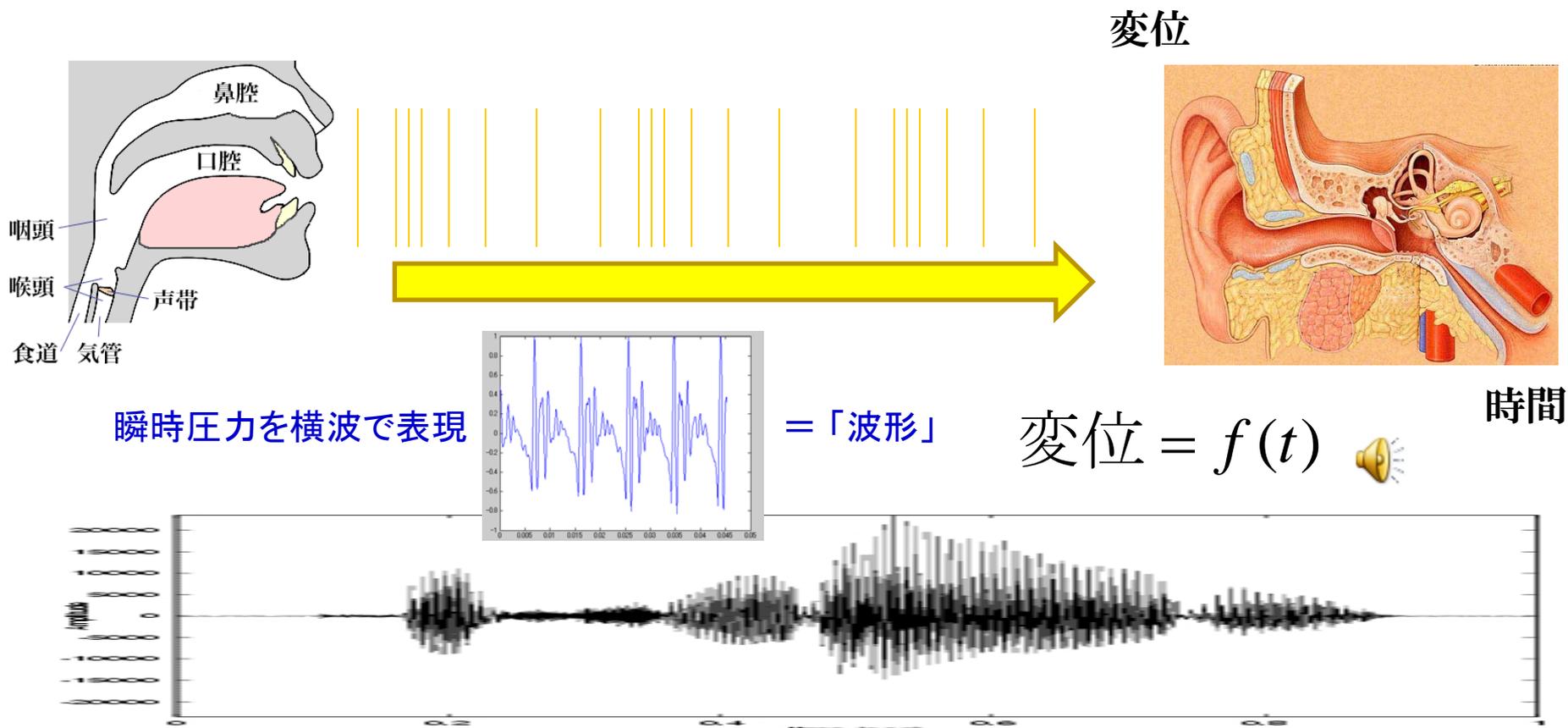
- 言語 → さらに高い知能
- 音声認識、音声合成は高度に発達

■ 音楽

- 音声言語と似た構造
 - 文法 ←→ 音楽理論
 - 音韻 ←→ 音符、リズム
 - 話者 ←→ 歌唱者、楽器

音響信号とは？

- 空気の振動(縦波)
- 空気粒子の前後方向の変位 → 時間の関数として表現

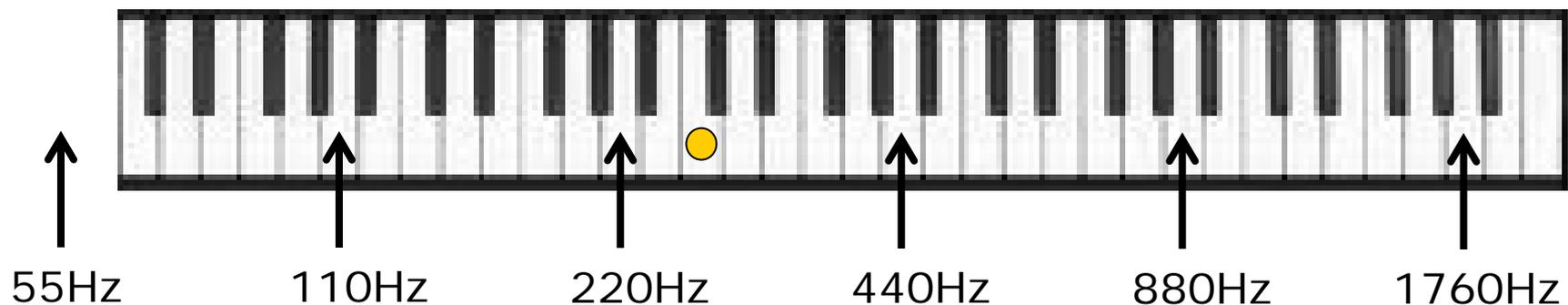


聴覚：優れた音響分析器

- **高ダイナミックレンジ**: 小さな音から大きな音まで
 - 0dB SPL ~ 120dB SPL! (0dB SPL = 20 μ Pa)
- **高帯域**: 低い音から高い音まで
 - 可聴域: 20Hz ~ 20000Hz (10オクターブ!)
- **高機能**:
 - カクテルパーティ効果
様々な音が混合している環境下で特定の音を聞き分ける
 - 音源定位
音源の方向、距離感、広がり感などを知覚
 - 聴覚情景解析
両耳で得られた2つの音信号のみから、
周囲の複雑な音情景、音環境を理解する

音の高さの知覚(音楽)

- キーボードと周波数(12平均律)
 - 1オクターブ間隔とは、周波数比が2であること



聴覚の構造

■ 外耳(耳介・外耳道)

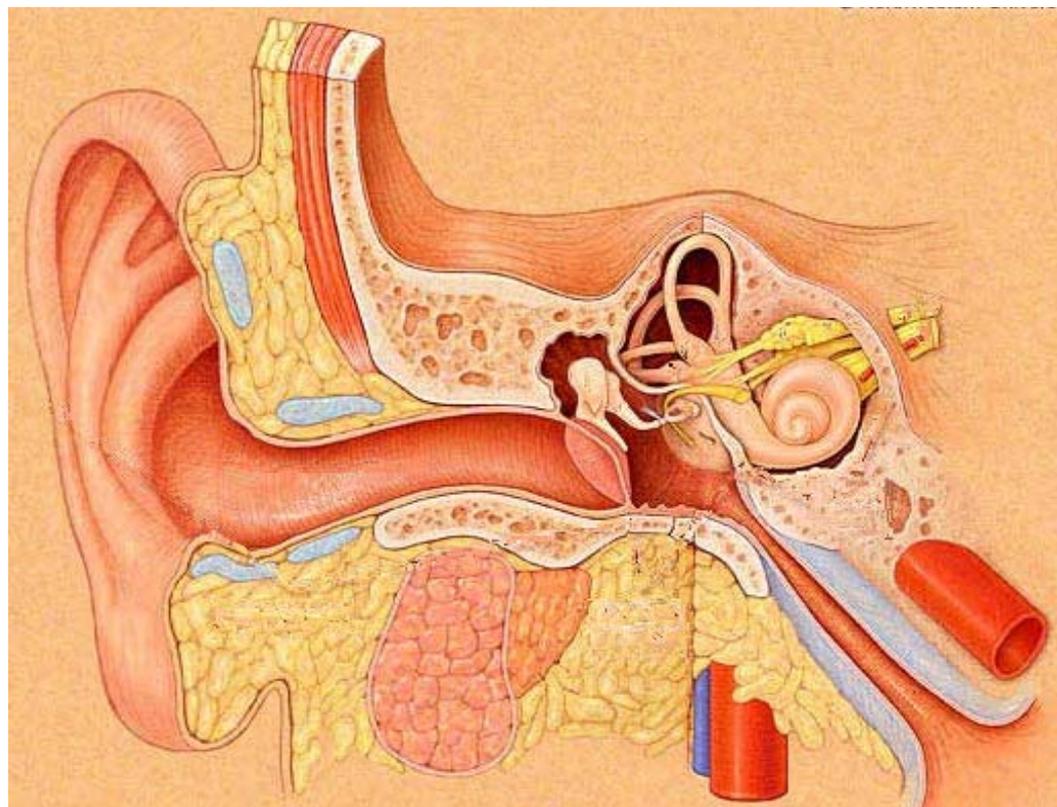
- 集音、音の増幅
- 方向性フィルタ
(音源定位に重要)

■ 中耳(鼓膜・耳小骨)

- インピーダンス変換
(空気→液体の
高効率な振動伝達)
- 大音圧からの保護

■ 内耳(蝸牛)

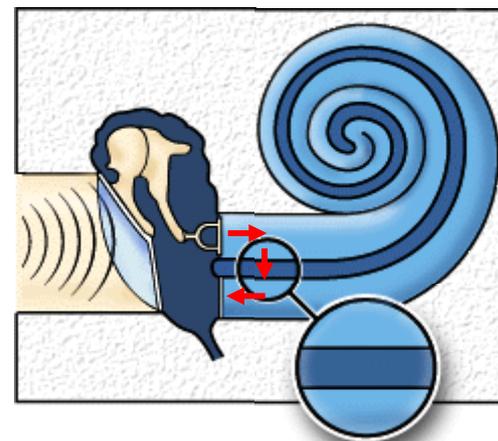
- 周波数分解
- 機械的振動から神経インパルス列への変換



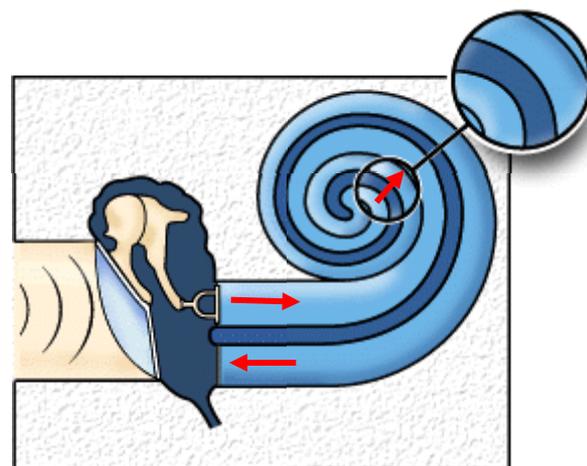
<http://www.tchain.com/otoneurology/disorders/symptoms/etdysfunction.htm>

蝸牛の働きの模式図

- 鼓膜の振動が耳小骨を介して蝸牛の前庭階へ
- 振動は前庭階のリンパ液中を入り口から奥へ向かって伝播（進行波）
- 共振周波数に対応する場所で基底膜が上下に振動
→ 周波数分解
- 共振周波数は入り口側が高く奥が低い



周波数が高い場合

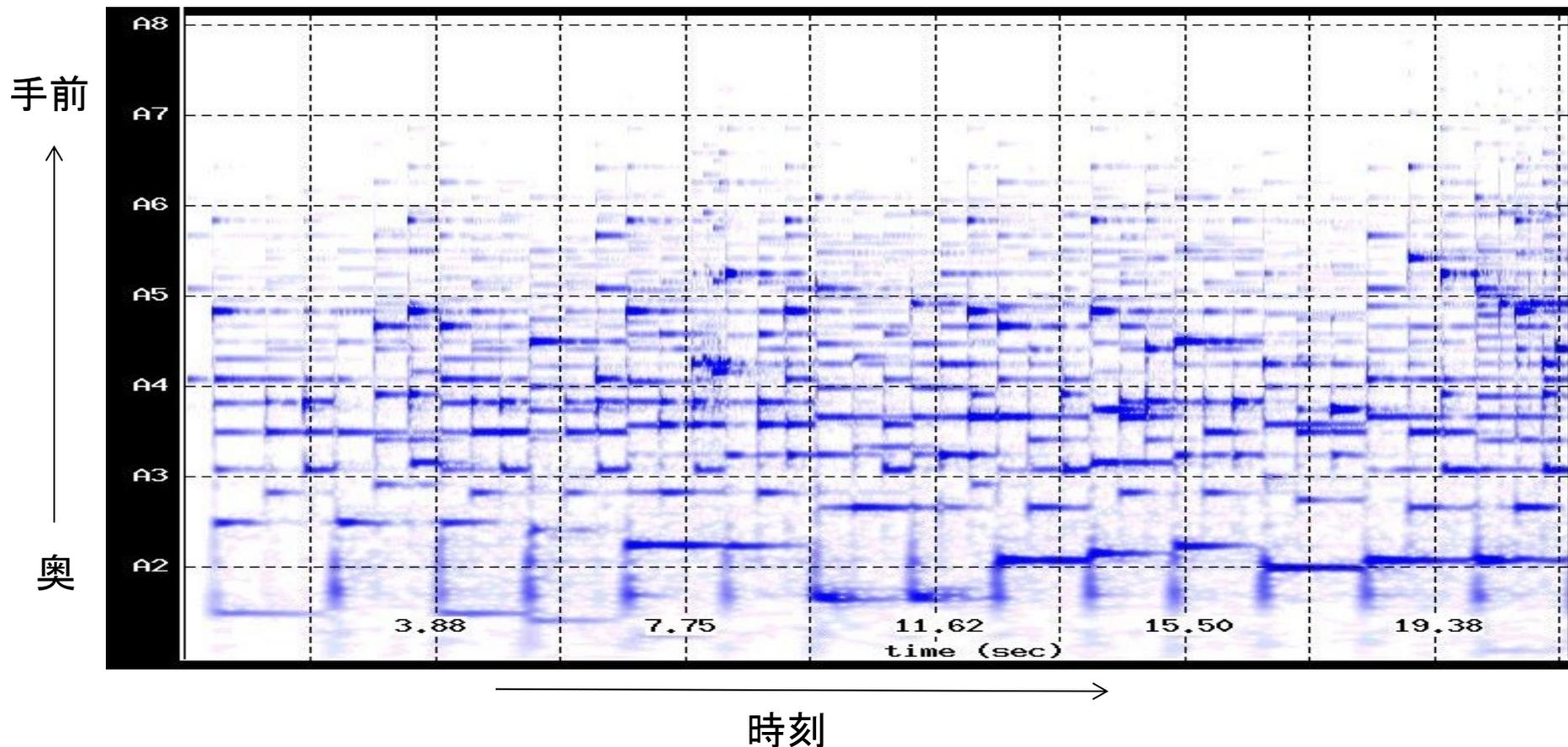


周波数が低い場合

<http://www.neuroreille.com/promenade/english/ear/fear.htm>

スペクトログラムの話

- 蝸牛が受ける刺激の時間パターンと考えると良い



パワースペクトルの時間的な遷移を表したのがスペクトログラム

フーリエ解析入門

■ Jean Baptiste Joseph Fourier, 1768-1830

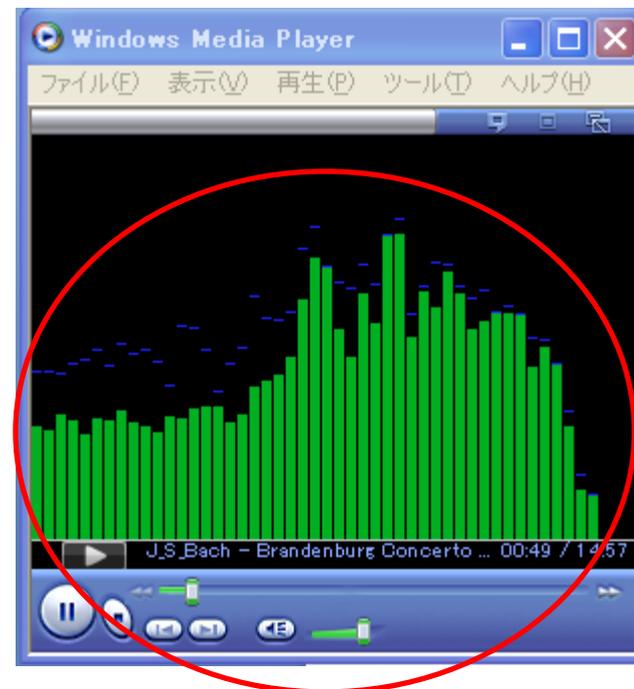
- フランスの数学者・物理学者。
- フランス中部、ヨンヌ県のオセールアールの仕立屋の9番目の息子。8歳で孤児。
- フランス革命、ナポレオン時代、グルノーブルの知事。



音楽研究の基礎: スペクトル

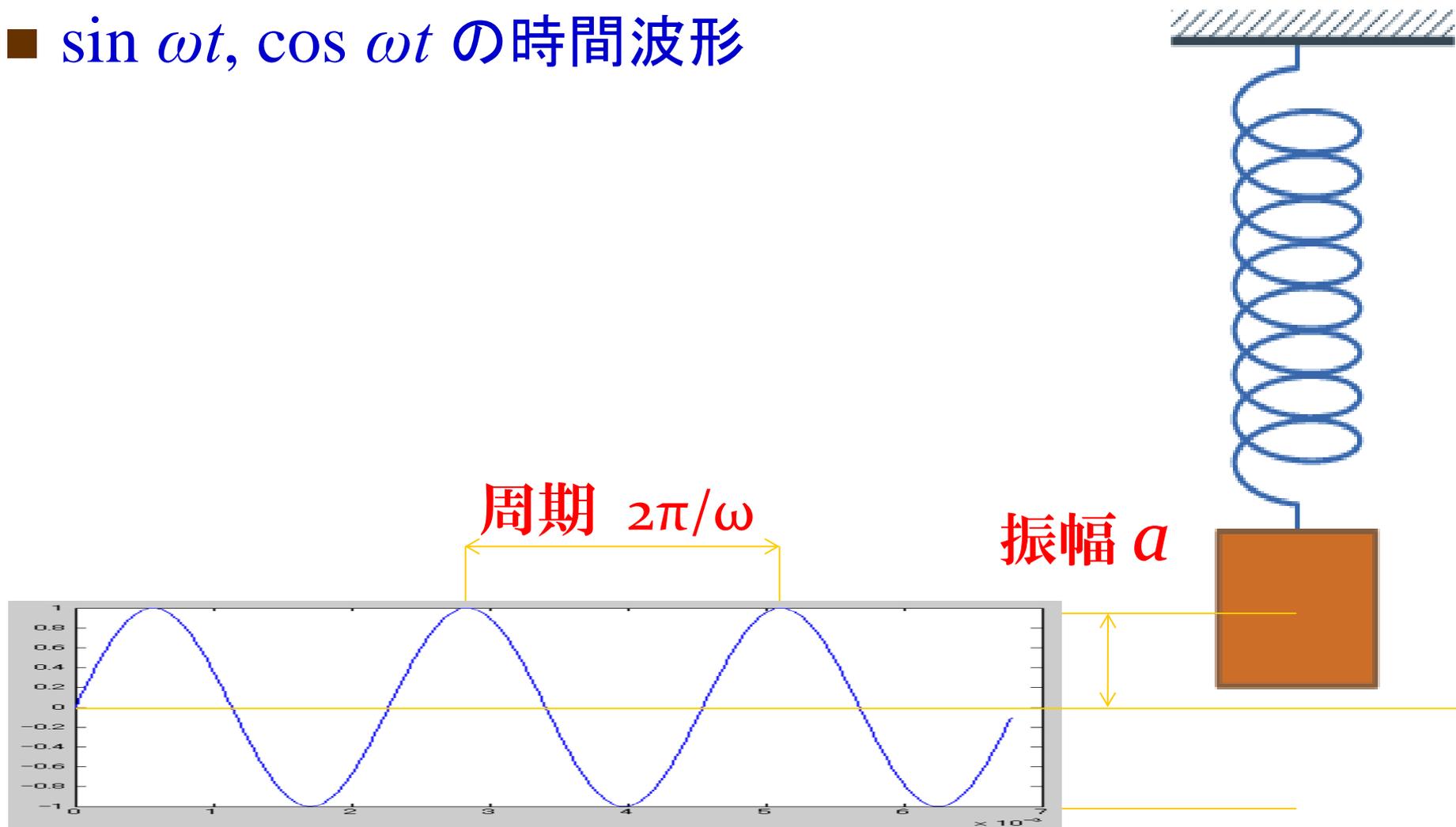
基礎的だけれども
重要な概念の紹介

皆さんの生活にも身近な
コレ



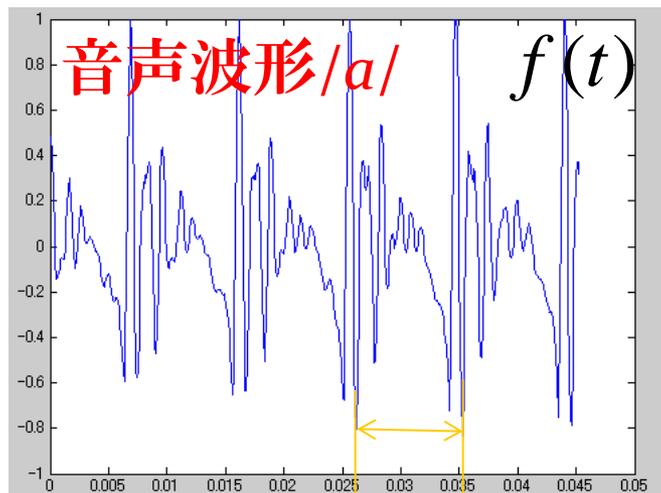
正弦波

■ $\sin \omega t, \cos \omega t$ の時間波形

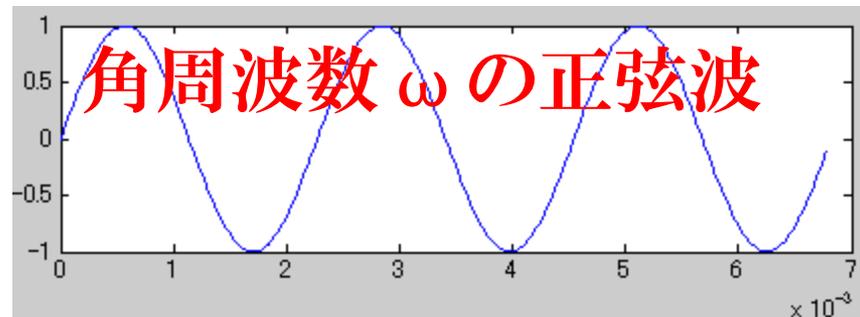


フーリエ級数展開とは？

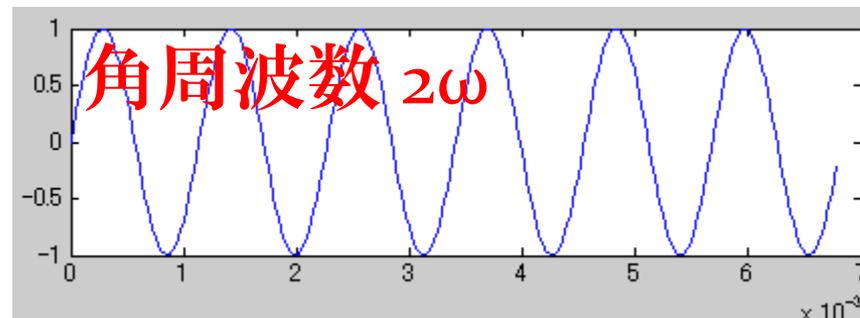
- どんな形の波であっても
同じ形の繰り返しであれば
“正弦波”の足し算で表せる!



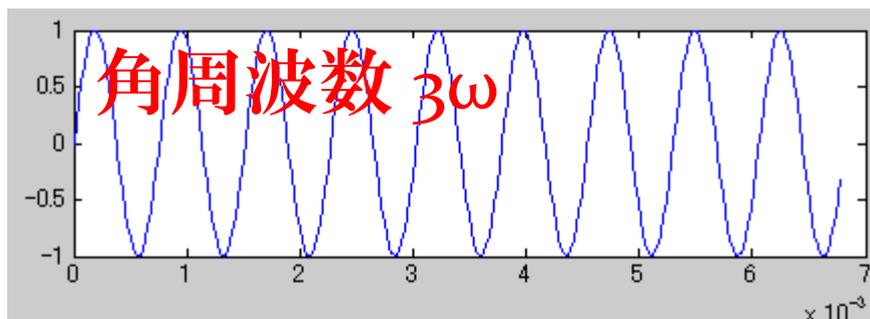
周期 $2\pi/\omega$



+



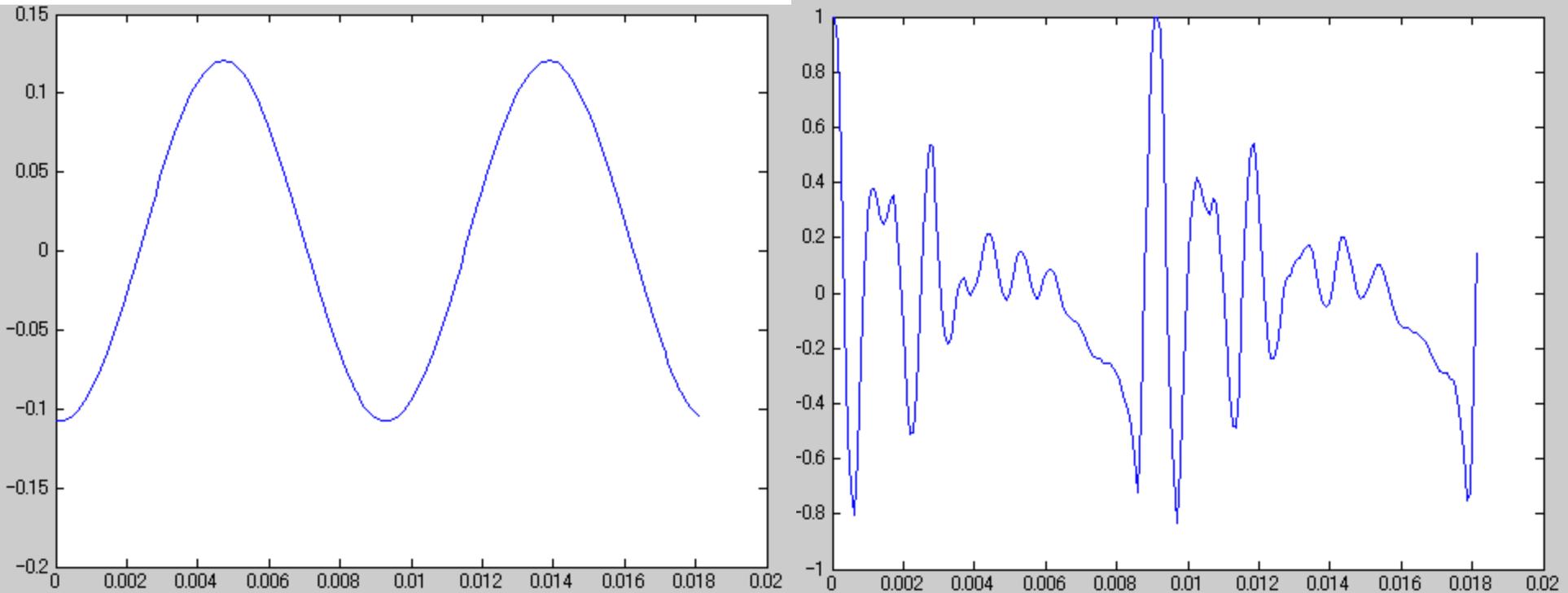
+



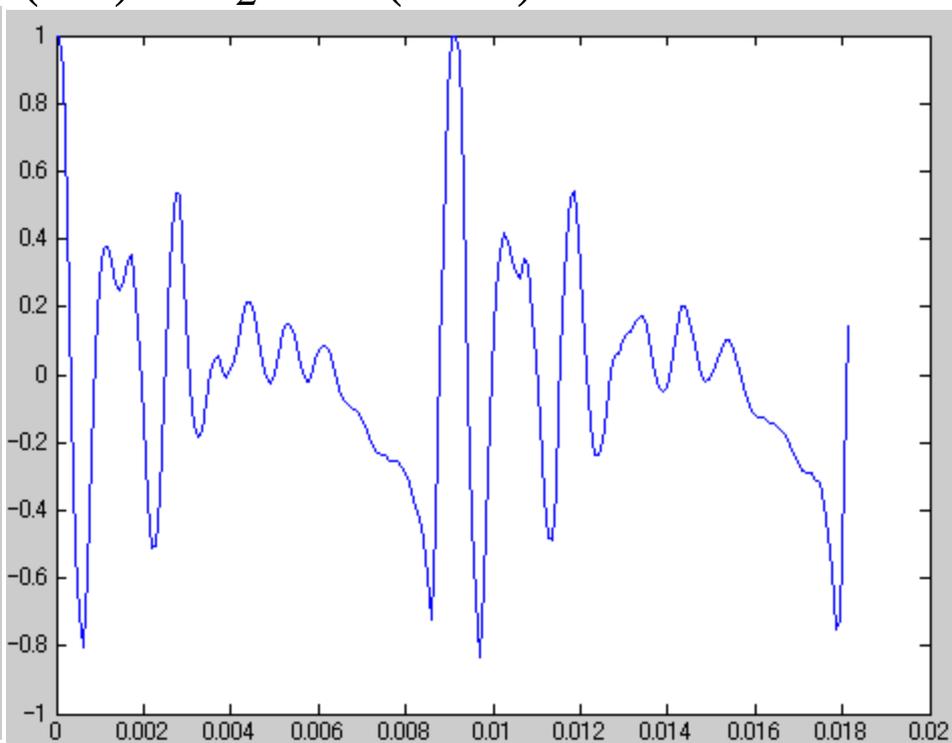
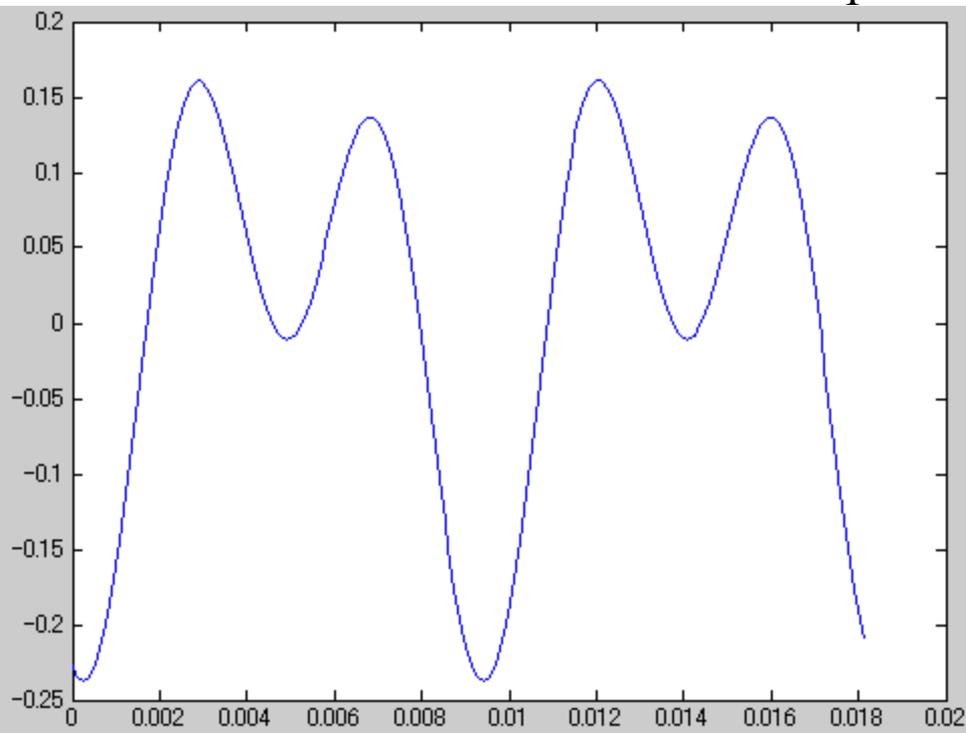
⋮

$f(t) =$ 正弦波の足し算で ...?

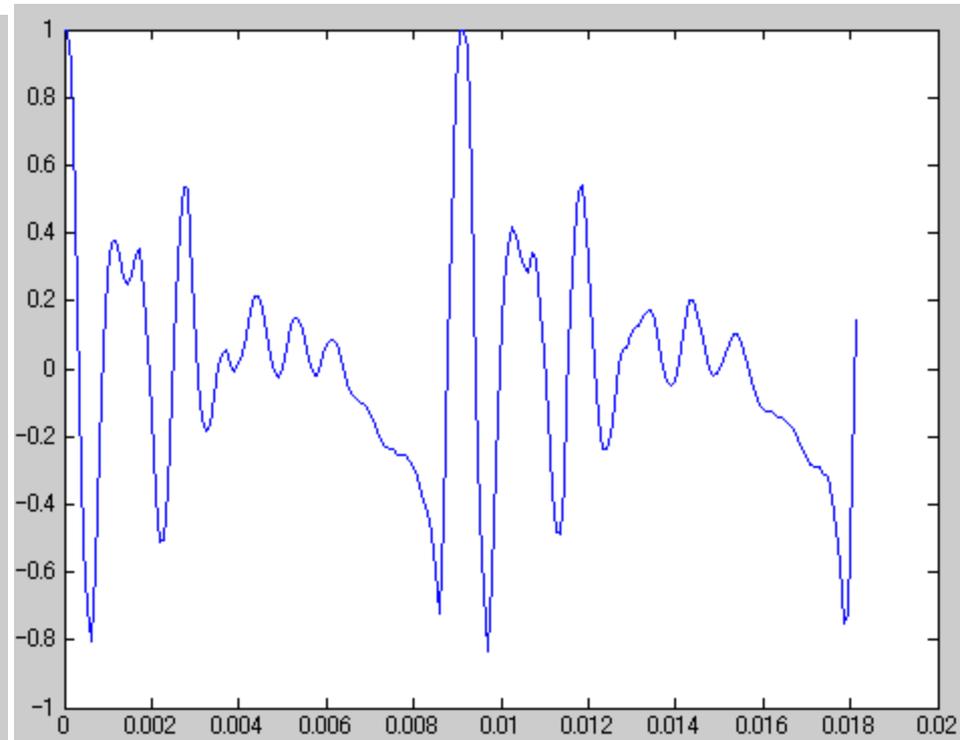
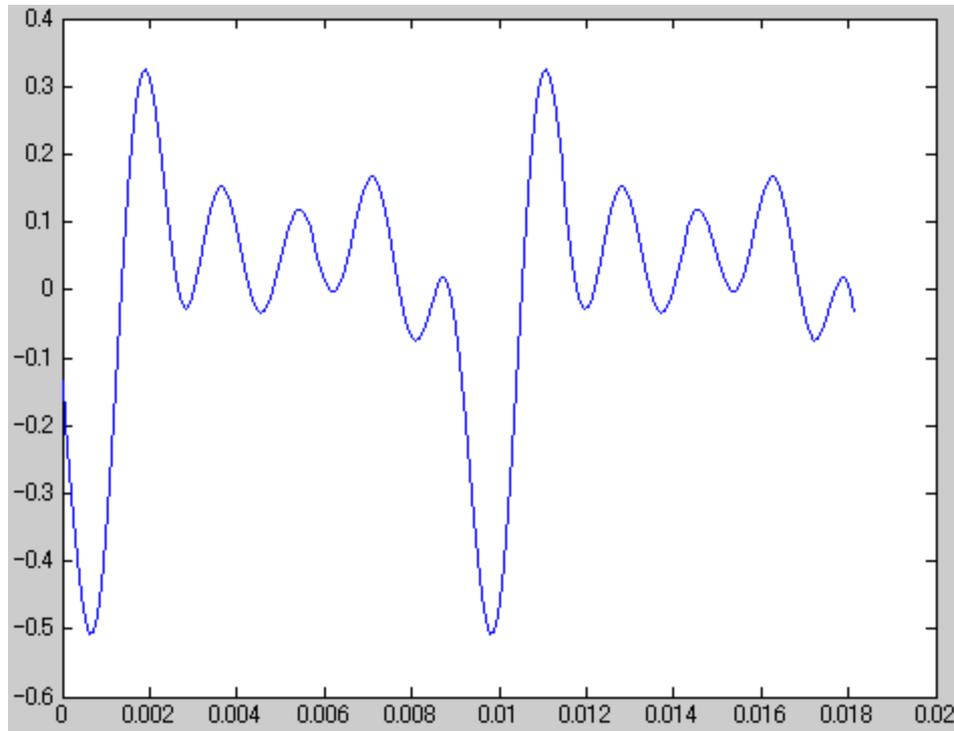
$$f(t) = a_1 \sin(\omega t) + b_1 \cos(\omega t)$$



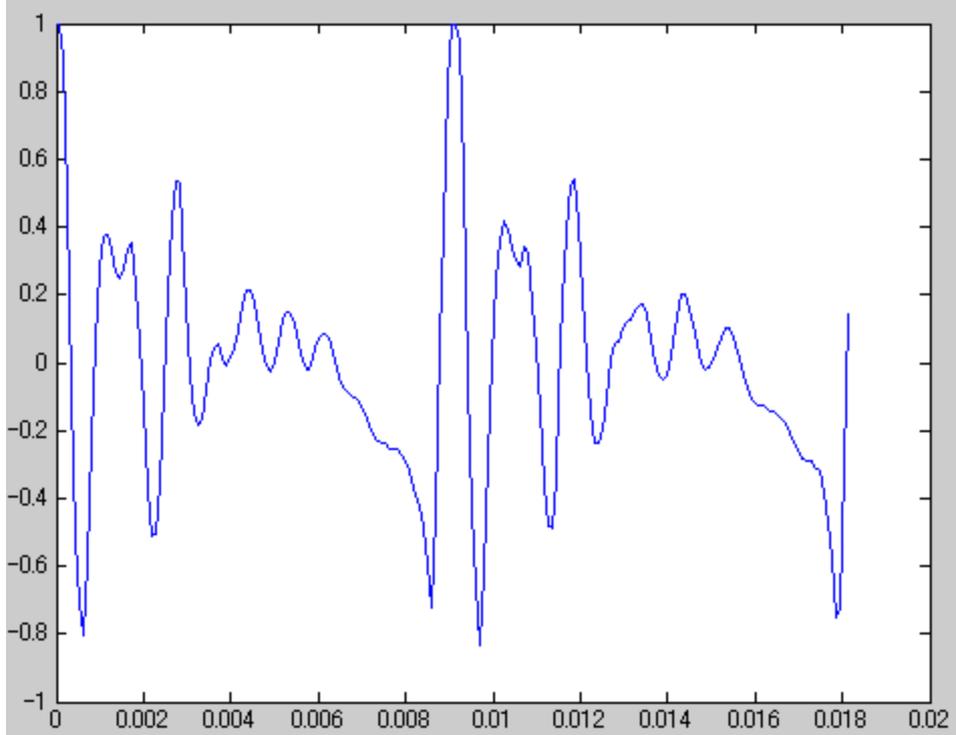
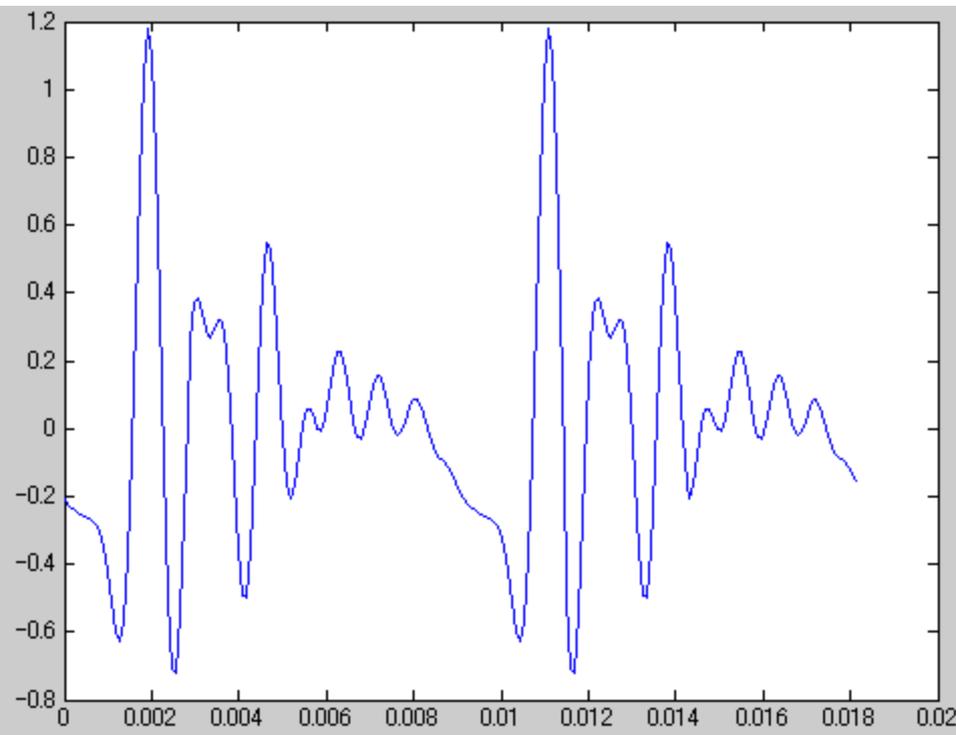
$$f(t) = a_1 \sin(\omega t) + a_2 \sin(2\omega t) \\ + b_1 \cos(\omega t) + b_2 \cos(2\omega t)$$



$$f(t) = a_1 \sin(\omega t) + a_2 \sin(2\omega t) + a_3 \sin(3\omega t) + a_4 \sin(4\omega t) + a_5 \sin(5\omega t) \\ + b_1 \cos(\omega t) + b_2 \cos(2\omega t) + b_3 \cos(3\omega t) + b_4 \cos(4\omega t) + b_5 \cos(5\omega t)$$



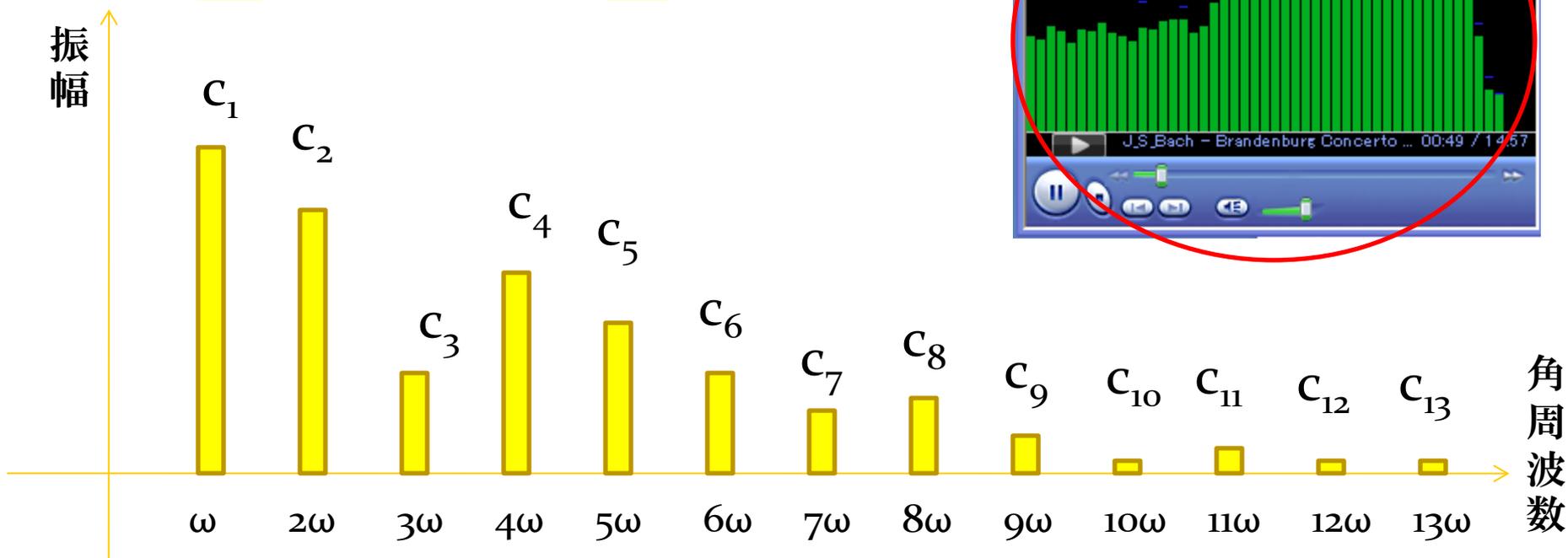
$$f(t) = a_1 \sin(\omega t) + a_2 \sin(2\omega t) + a_3 \sin(3\omega t) + a_4 \sin(4\omega t) + a_5 \sin(5\omega t) + a_6 \sin(6\omega t) + a_7 \sin(7\omega t) + \dots$$
$$+ b_1 \cos(\omega t) + b_2 \cos(2\omega t) + b_3 \cos(3\omega t) + b_4 \cos(4\omega t) + b_5 \cos(5\omega t) + b_6 \cos(6\omega t) + b_7 \cos(7\omega t) + \dots$$



スペクトル(spectrum)とは？

- どの高さの正弦波が
どれぐらいの大きさで
鳴っているかを表した図

$$f(t) = \underline{c_1} \sin(\omega t + \varphi_1) + \underline{c_2} \sin(2\omega t + \varphi_2)$$



スペクトル(spectrum)とは？

- ω をどんどん小さく取っていくと...

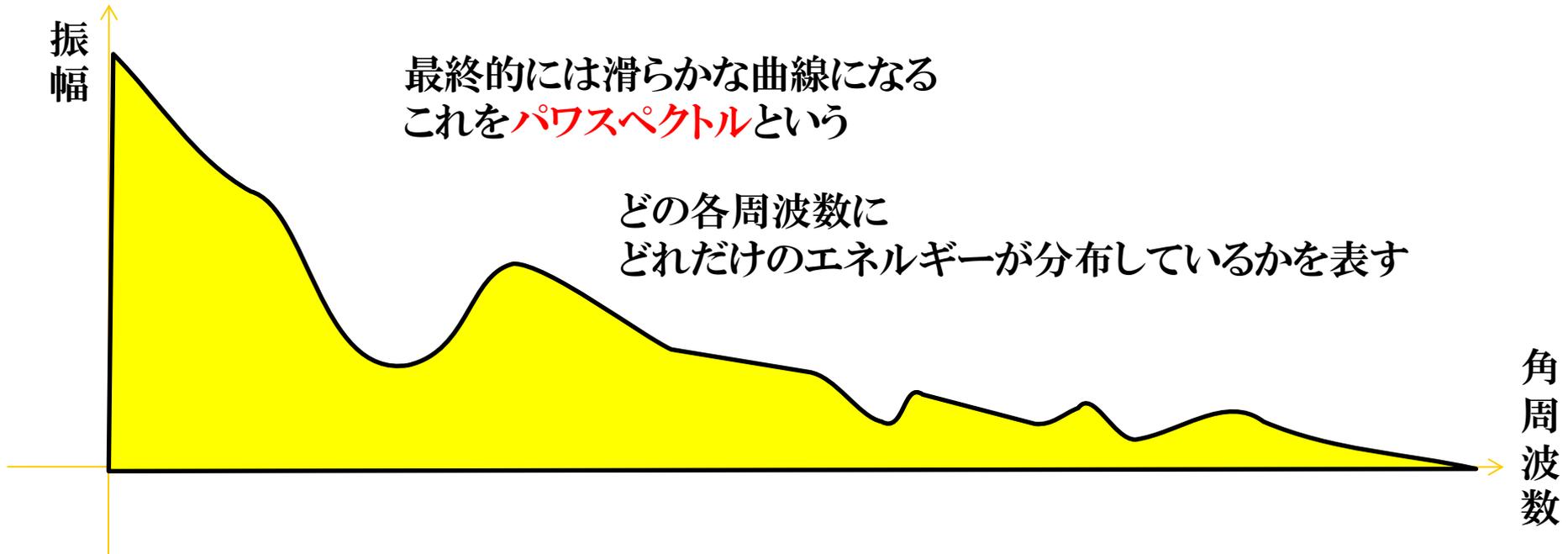
$$f(t) = \underline{c_1} \sin(\omega t + \varphi_1) + \underline{c_2} \sin(2\omega t + \varphi_2) + \underline{c_3} \sin(3\omega t + \varphi_3) + \dots$$



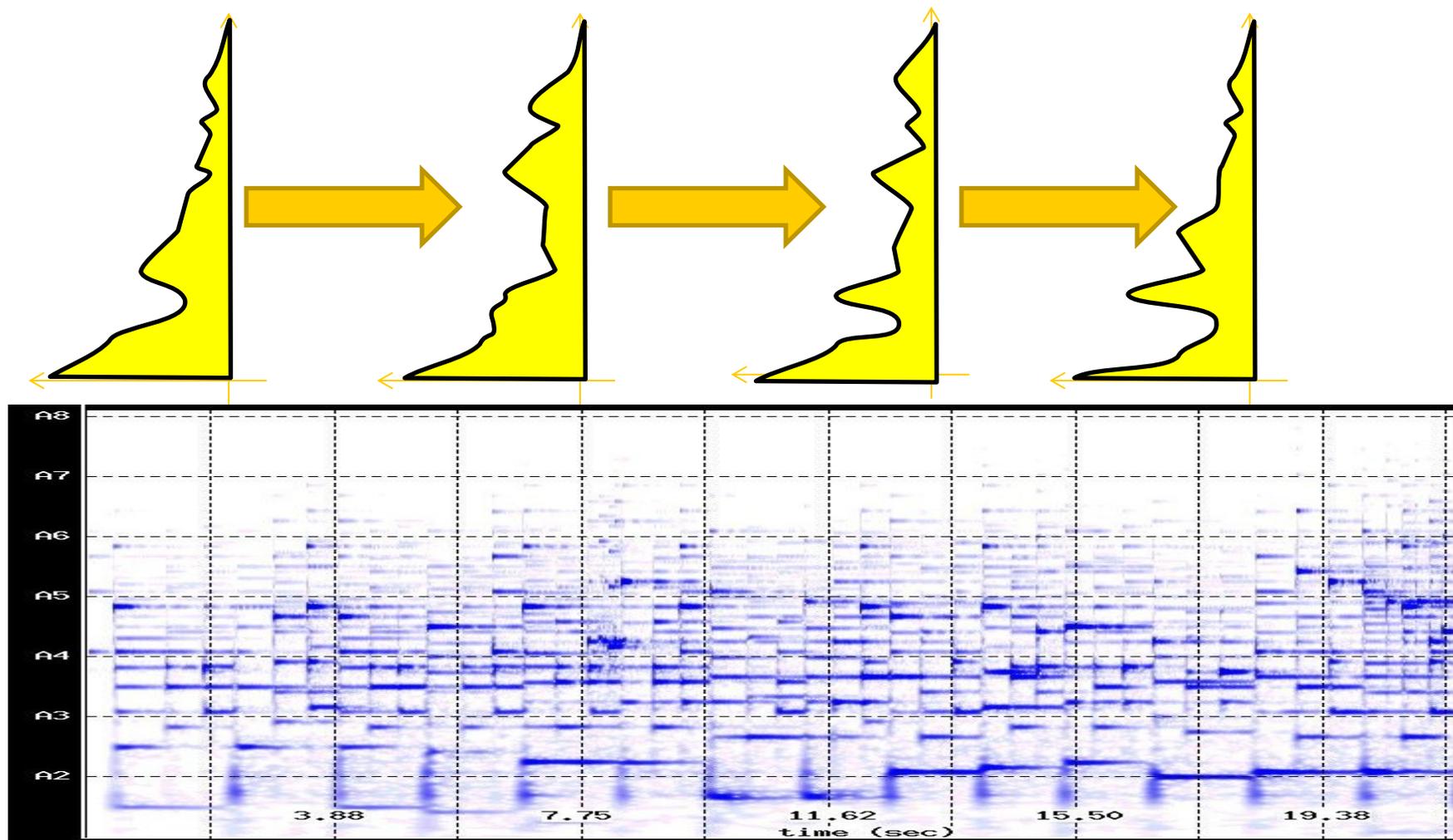
スペクトル(spectrum)とは？

- ω をどんどん小さく取っていくと...

$$f(t) = \underline{c_1} \sin(\omega t + \varphi_1) + \underline{c_2} \sin(2\omega t + \varphi_2) + \underline{c_3} \sin(3\omega t + \varphi_3) + \dots$$



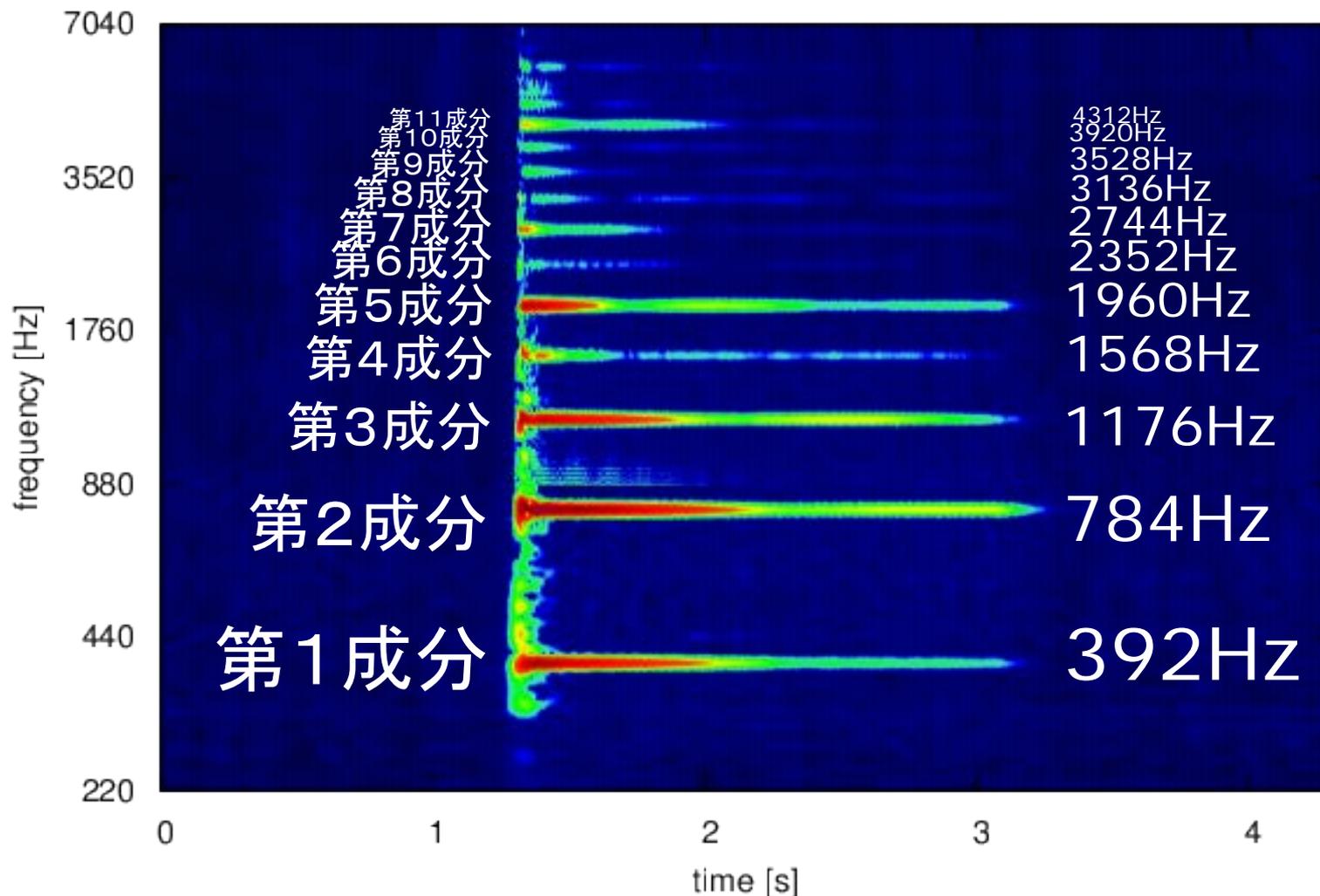
スペクトログラムとは？



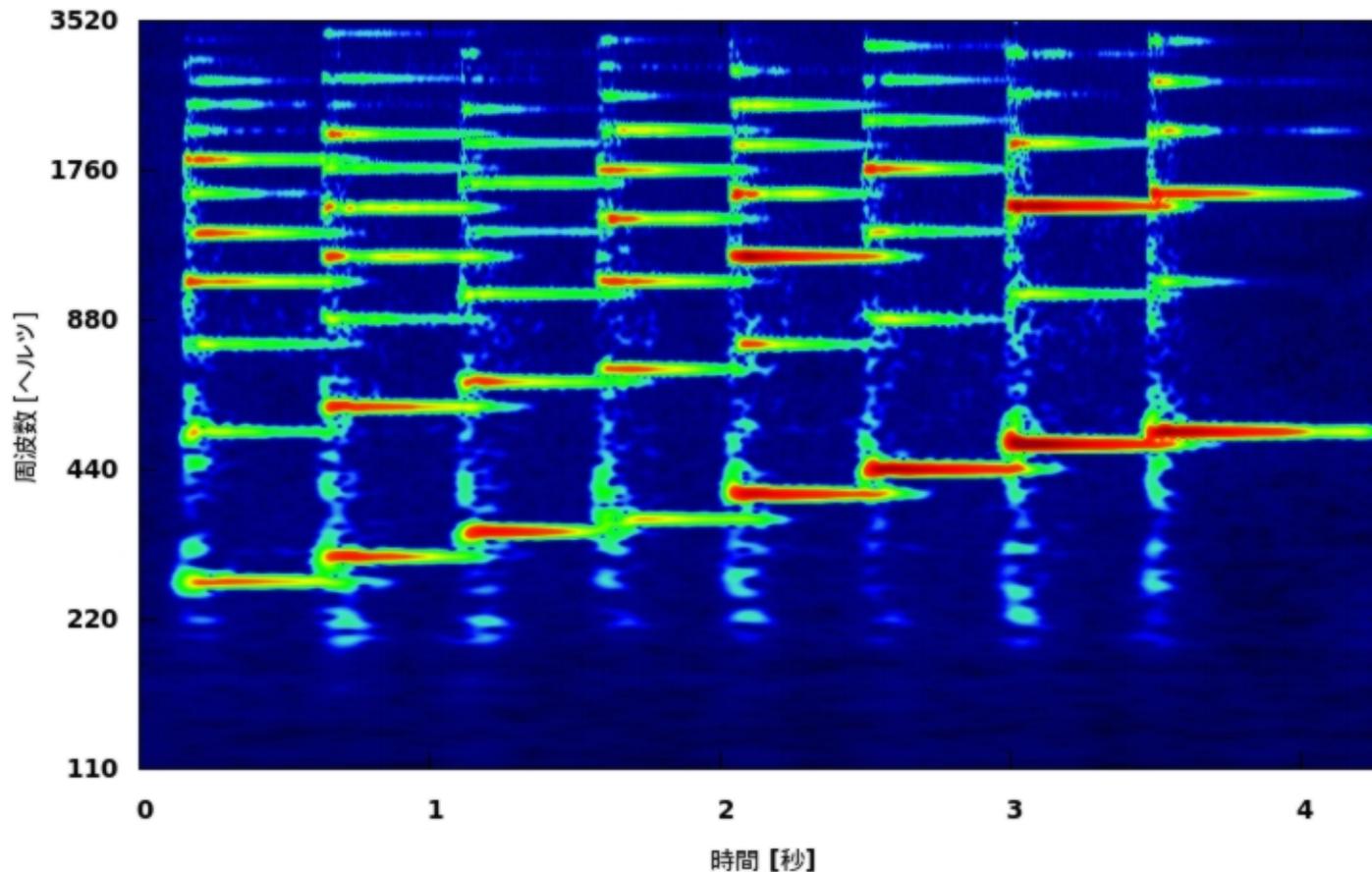
パワースペクトルの時間的な遷移を表したのがスペクトログラム (音楽の例)

楽音の周波数成分の例

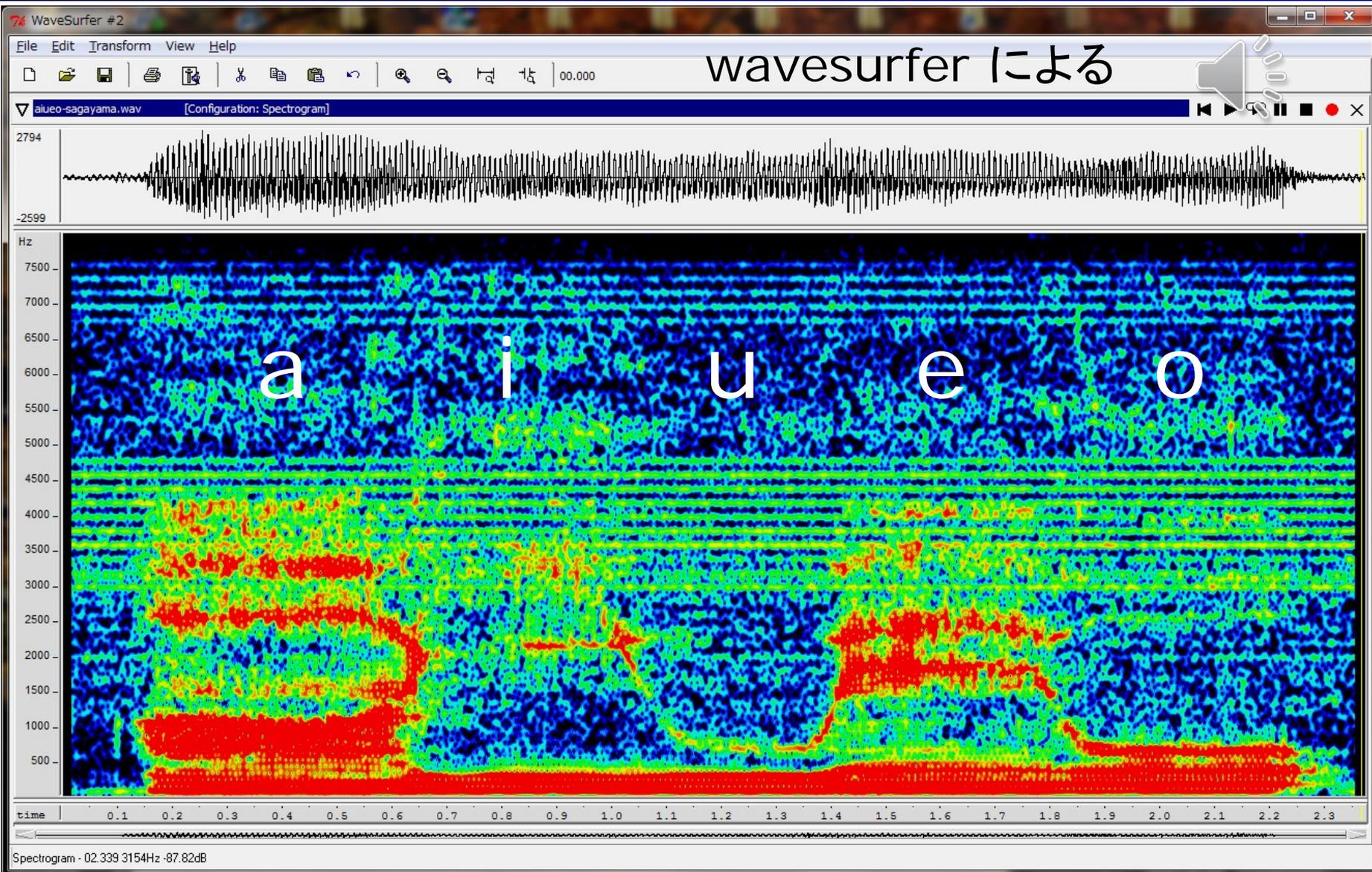
- 楽音は、多くの倍音成分を含んでいる（下はソの例）



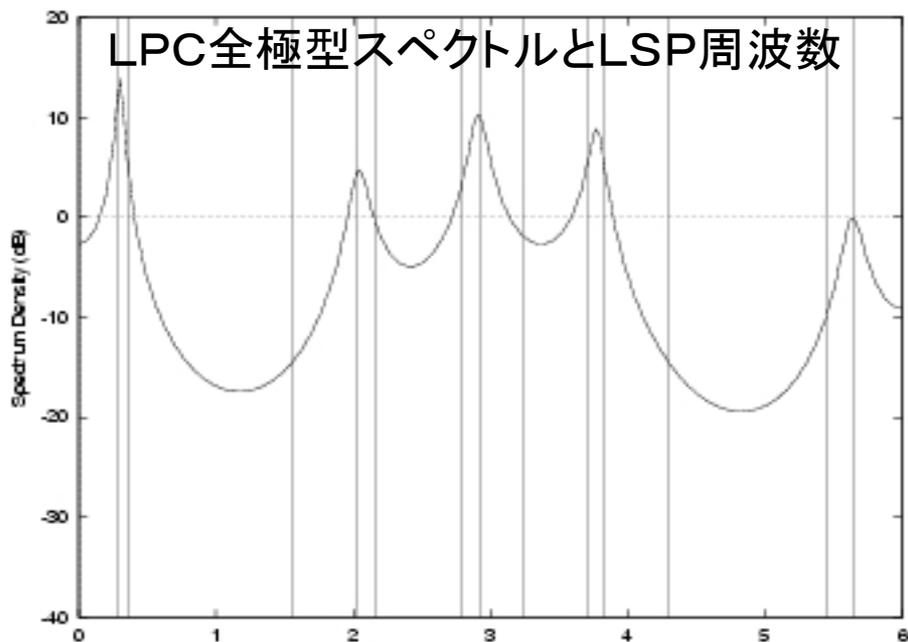
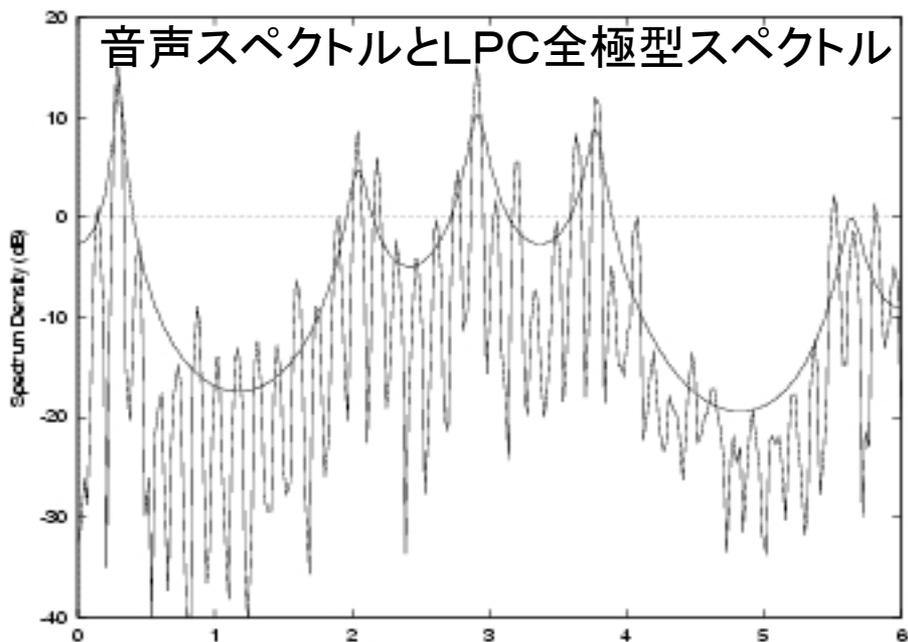
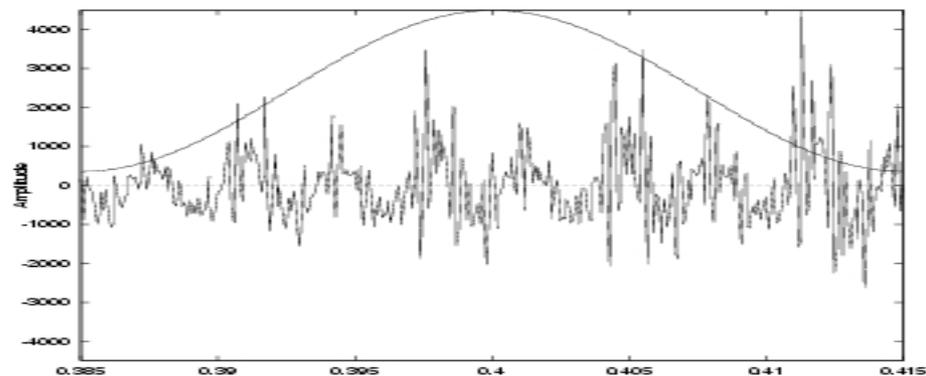
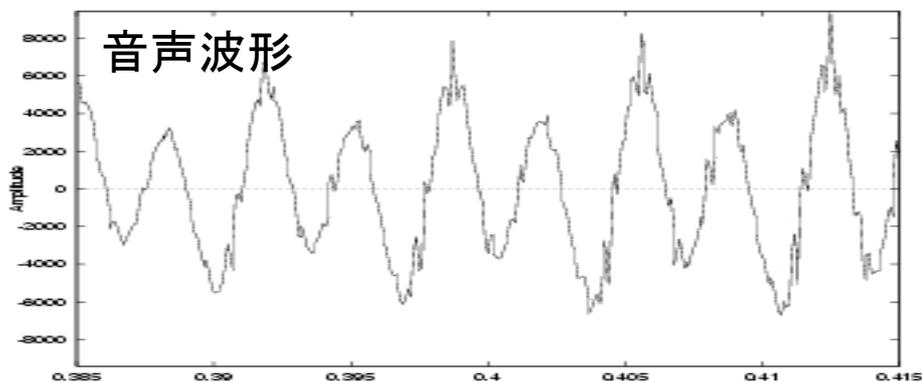
ピアノの音階音の周波数成分例



音声の周波数成分例(ノイズあり)



音声のスペクトル解析例 /i/



雑談：人間の知覚は対数的

- 光の強さ
- 重さ、力の強さ
- 音の大きさ $\propto \log$ エネルギー
- 音の高さ $\propto \log$ 周波数 \rightarrow 1オクターブ上は周波数2倍のこと
- 時間間隔・感覚、恐らく年齢も？

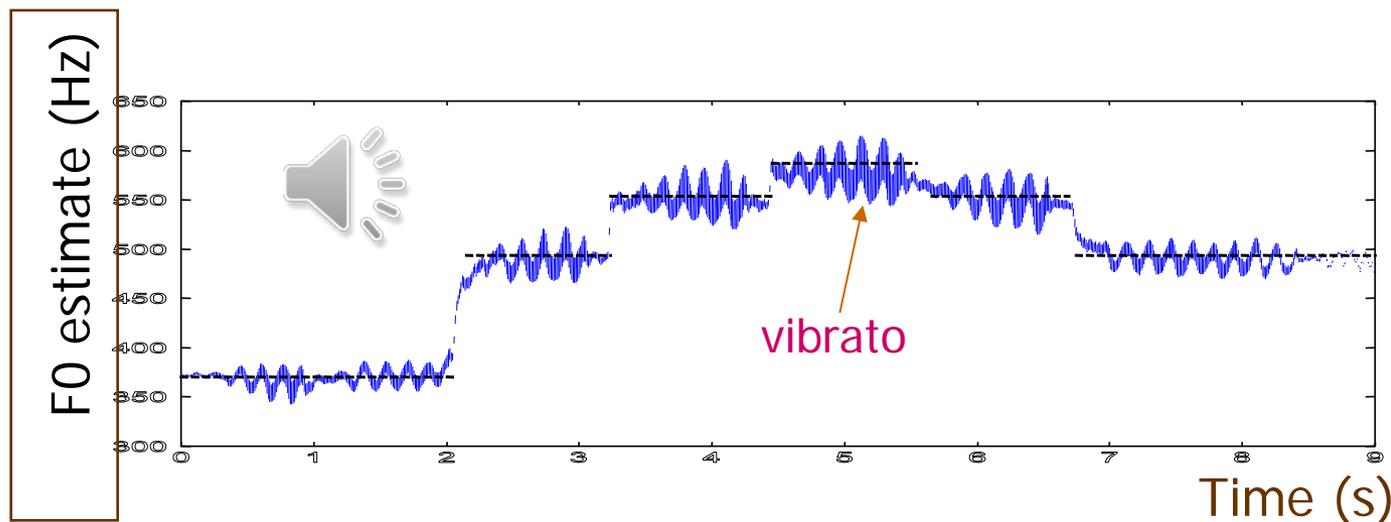
- 対数(logarithm)とは何か？
 - 全体に対する増加割合の積算目盛

$$\int \frac{dx}{x} = \log x$$

音楽を聴き分ける機械： ＜音楽信号処理＞

音楽信号処理:ピッチ抽出

- 高精度のピッチ抽出 (単旋律:「荒城の月」)
 - Pitch accuracy: 90.6%
 - [Kameoka2003ASJ03]



MIDI変換
(oboe)

- 難問は、多重音分離

音楽のスペクトログラム

F. Chopin: ノクターン
第2番変ホ長調
Op.9-2

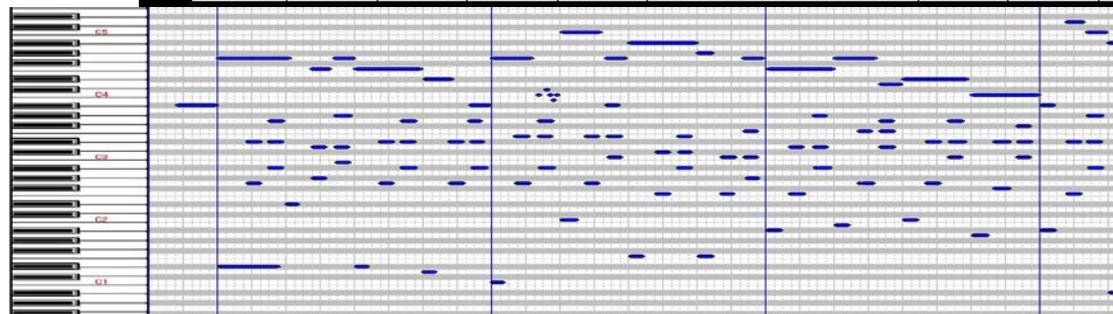
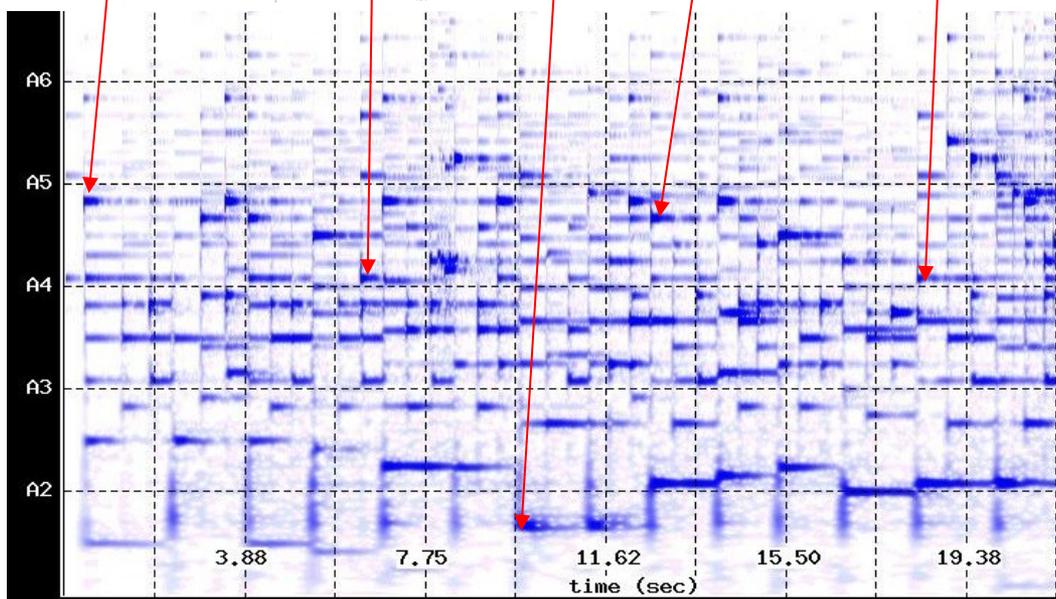
(1) 楽譜

(2) 音響信号 

(3) スペクトログラム
(エネルギーの周波数
分布の濃淡表示)

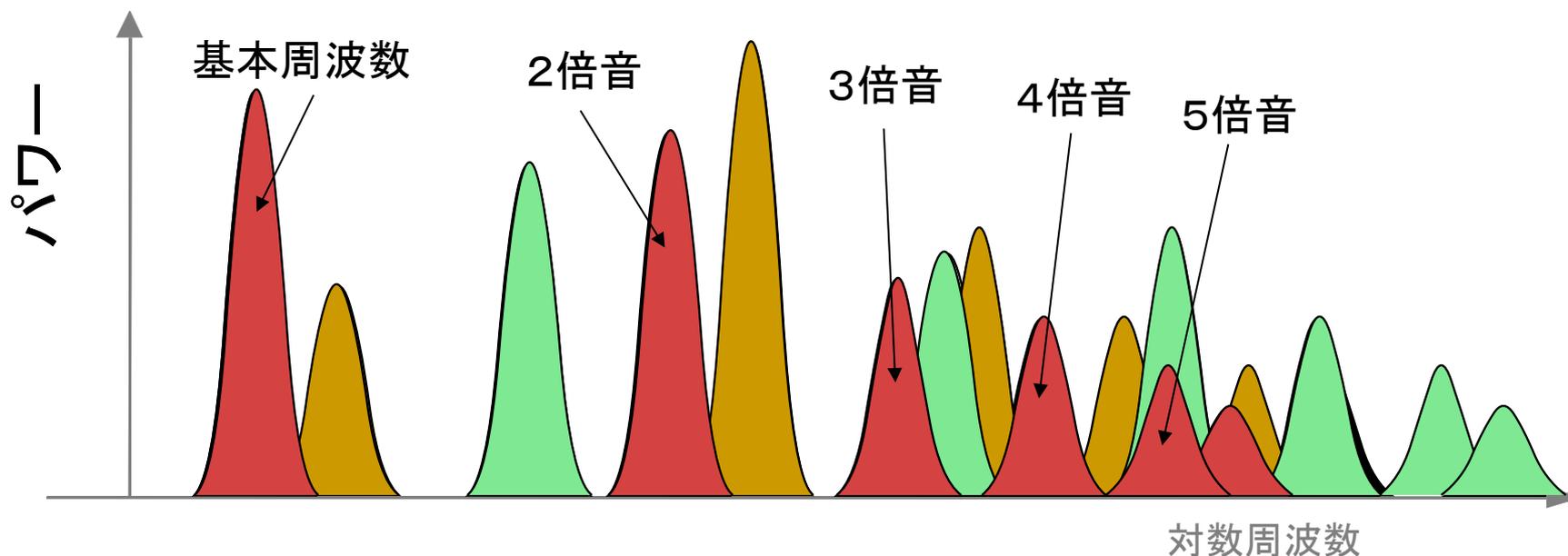
人間はこれを蝸牛角の刺
激パターンとして音を
知覚している

(4) 手入力MIDI
信号のピアノ
ロール表示



多重音解析：何が問題か？

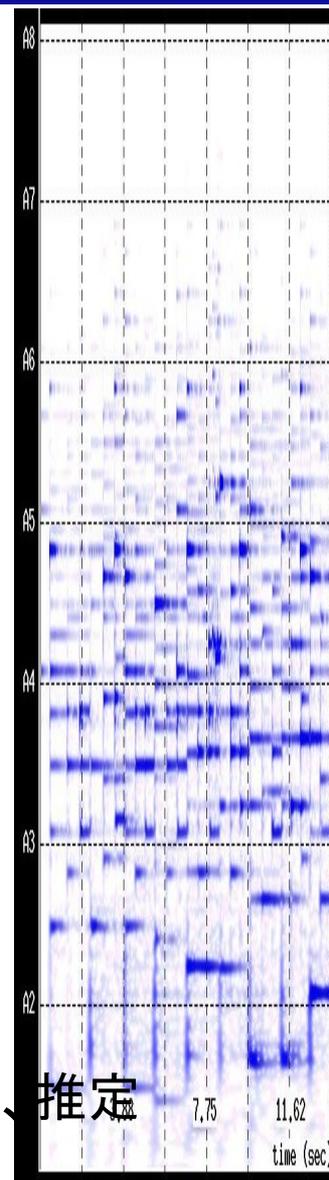
■ 多重音スペクトル：倍音が重なり合う



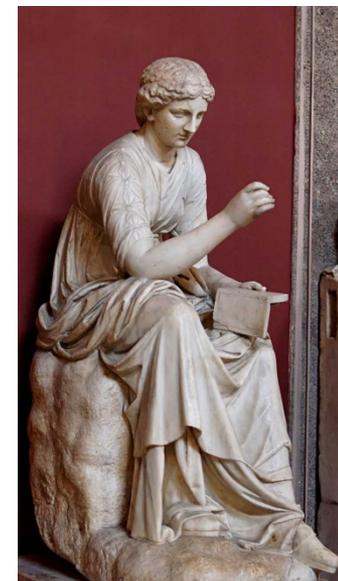
- 多重音解析：各周波数の音響エネルギーがどの音に由来するか特定する（一意でない）
- ミックスジュース分離問題
 - 元のジュースの成分比が一定なら連立方程式。実際は ...

多重音解析1

- (音楽信号処理の難問: なぜ困難? - M)
 - 高調波の重なり、ビブラート、音色変動
- Specmurt - S
 - Spectrumの周波数軸を対数化してフーリエ変換
 - 多重音を対数周波数上の線形システム応答と見なす
 - Piano roll に似た画像生成
 - 2次元へも拡張
- Harmonic Clustering (調波クラスタリング) - S
 - 単音の短時間スペクトルの調波構造を混合ガウス分布で表現
 - 混合ガウス分布の混合により和音を表現
 - EMアルゴリズムにより各音の音高を反復推定
 - 情報量基準により多重音数を推定
- HTC (調波・時間クラスタリング) - S M L
 - 時間包絡も混合ガウス分布で表現
 - 単音を2次元混合ガウス分布で表現
 - スペクトログラム全体を2次元混合ガウス分布の混合で表現し、推定

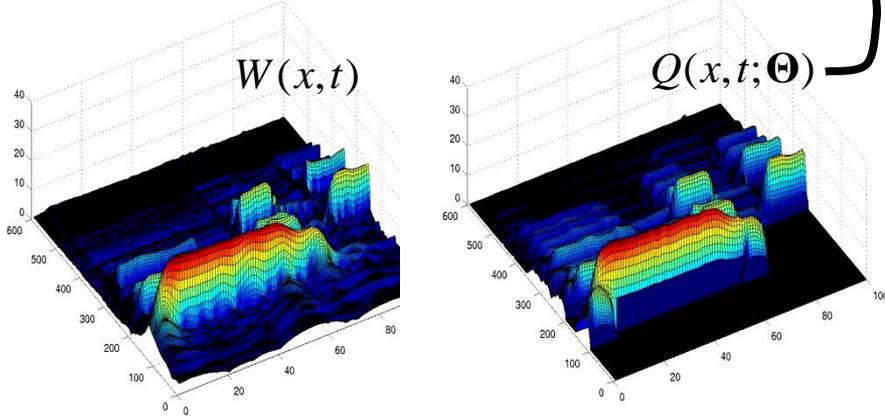


- 拘束付き非負行列分解(NMF) - M L
 - スペクトログラムを行列と見做して、基底ベクトル集合と活動時期表示の2つの非負行列の積に分解表現
 - 種々の拘束を追加(調波性、時間連続、疎、...)
- 状態遷移NMF
 - 音色遷移(ピアノ)、ビブラート(バイオリン)の多重音分解
 - 音高を加工可能
- “Music Factorizer” - L
 - 音楽信号を、音色 × 音長 × 発音時刻に行列因数分解
 - 各要素: 音量、ピッチ、音長を個別制御可能
- *Kalliope*: 自動採譜システム(計画)
 - 音色の時間変化を状態遷移で表現
 - 多重音解析 + リズム解析 + 調解析

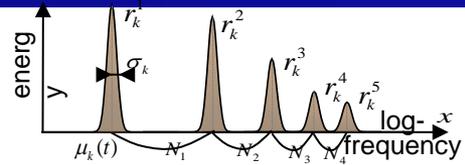


HTC(調波・時間クラスタリング)の原理

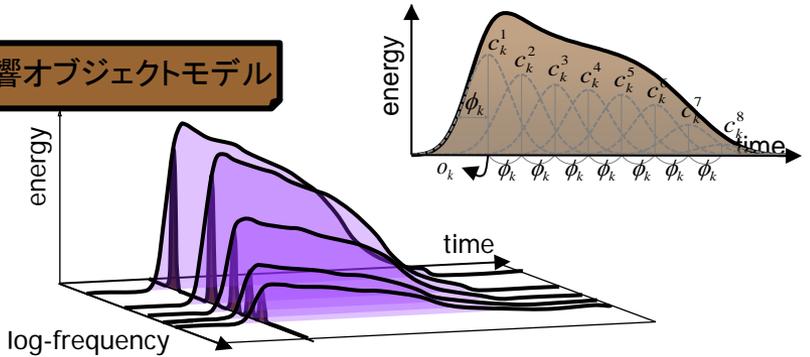
<確率モデルの統計学習で定式化>



$Q(x,t;\Theta)$ は音響オブジェクトモデルと呼ぶ「調波構造+滑らかなパワーエンベロップ」をなす音源モデルの重みつき和で表される。



音響オブジェクトモデル



- 観測スペクトrogram: $W(x,t)$
- Kullback-Leibler尺度(分布間距離)を最小化

$$J \equiv \iint_D W(x,t) \log \frac{W(x,t)}{Q(x,t;\Theta)} dxdt$$

$$Q(x,t;\Theta) = \sum_{\forall k} \sum_{\forall n} \sum_{\forall y} \frac{c_{k,n,y} r_k^n}{2\pi\sigma_k\phi_k} \exp\left(-\frac{(x-\mu_k(t)-\log n)^2}{2\sigma_k^2} - \frac{(t-o_k-y\phi_k)^2}{2\phi_k^2}\right)$$

$$\equiv S_{k,n,y}(x,t)$$

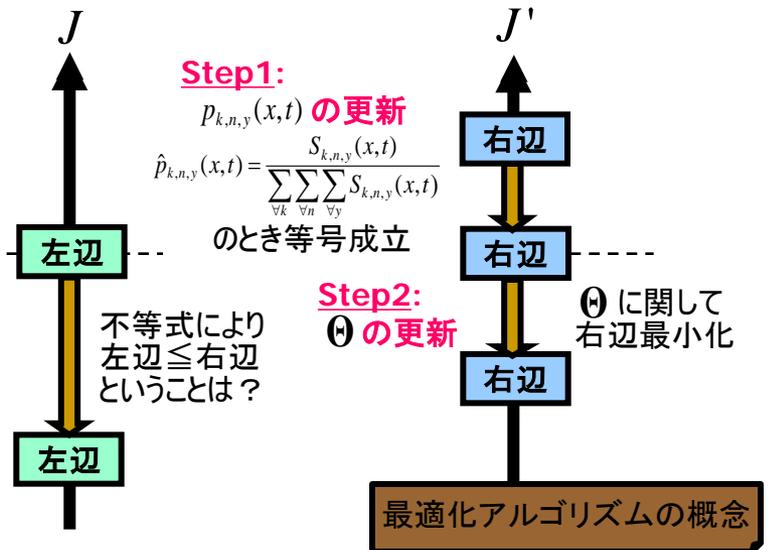
$$0 \leq p_{k,n,y}(x,t) \leq 1, \sum_{\forall k,n,y} p_{k,n,y}(x,t) = 1$$

- 対数関数は凹関数なので、任意の重み関数 $p_{k,n,y}(x,t)$ を用いてJensenの不等式が成立

$$J = \iint_D W(x,t) \log \frac{W(x,t)}{Q(x,t;\Theta)} dxdt \leq \sum_{\forall k} \sum_{\forall n} \sum_{\forall y} \iint_D W(x,t) p_{k,n,y}(x,t) \log \frac{W(x,t) p_{k,n,y}(x,t)}{S_{k,n,y}(x,t;\Theta)} dxdt$$

推定したいパラメータ:

$$\Theta = \left(\left\{ \mu_k(t), o_k, w_k, \sigma_k, \phi_k \right\}_{\forall k}, \left\{ r_k^n \right\}_{\forall k,n}, \left\{ c_k^y \right\}_{\forall k,y} \right)$$



HTC with EM algorithm

E-step: separates observation pattern into subunits

Subunits (missing data):

Parameter update equations in M-step

$$\hat{\mu}_k = \frac{\sum_{\forall n, \forall y} \int \int (x - \log n) p(k, n, y | x, t, \Theta) f(x, t) dx dt}{\sum_{\forall n, \forall y} \int \int p(k, n, y | x, t, \Theta) f(x, t) dx dt}$$

$$\hat{\sigma}_k = \left(\frac{\sum_{\forall n, \forall y} \int \int (x - \mu_k - \log n)^2 p(k, n, y | x, t, \Theta) f(x, t) dx dt}{\sum_{\forall n, \forall y} \int \int p(k, n, y | x, t, \Theta) f(x, t) dx dt} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$\hat{c}_k^y = \frac{d_c \bar{c}_y + \sum_{\forall n} \int \int p(k, n, y | x, t, \Theta) f(x, t) dx dt}{d_c + \sum_{\forall n, \forall y} \int \int p(k, n, y | x, t, \Theta) f(x, t) dx dt}$$

$$\hat{\phi}_k = \frac{-Z_k + \sqrt{Z_k^2 + 4X_k \sum_{\forall y} \int Y_k^y(t)^2 (t - o_k)^2 dt}}{2X_k}$$

$$\hat{r}_k^n = \frac{d_r \bar{r}_n + \sum_{\forall y} \int \int p(k, n, y | x, t, \Theta) f(x, t) dx dt}{d_r + \sum_{\forall n, \forall y} \int \int p(k, n, y | x, t, \Theta) f(x, t) dx dt}$$

$$\hat{o}_k = \frac{\sum_{\forall n, \forall y} \int \int (t - y \phi_k) p(k, n, y | x, t, \Theta) f(x, t) dx dt}{\sum_{\forall n, \forall y} \int \int p(k, n, y | x, t, \Theta) f(x, t) dx dt}$$

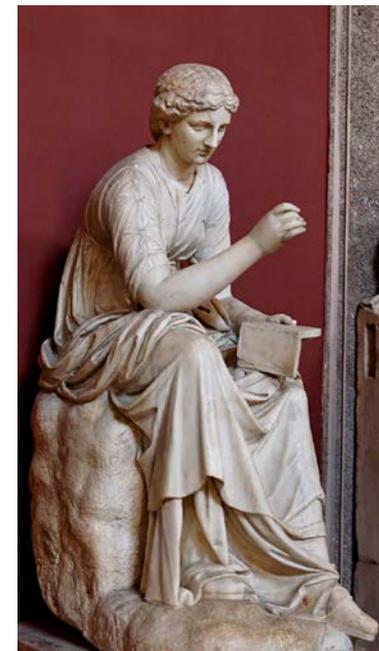
$$\hat{w}_k = \sum_{\forall n, \forall y} \int \int p(k, n, y | x, t, \Theta) f(x, t) dx dt$$

$$\left\{ \begin{aligned} Z_k &= \sum_{\forall n, \forall y} \int \int y(t - o_k) p(k, n, y | x, t, \Theta) f(x, t) dx dt \\ X_k &= \sum_{\forall n, \forall y} \int \int p(k, n, y | x, t, \Theta) f(x, t) dx dt \\ Y_k^y(t) &= \sum_{\forall n} \int p(k, n, y | x, t, \Theta) f(x, t) dx \end{aligned} \right.$$

多重音解析結果→楽器置換

■ Harmonic Clustering, HTC, HTTC

- 調波拘束混合ガウスモデルによる多重音表現
- 「補助関数法」発案で、学習による信号処理
- Sample: Chopin: Nocturne Op 9, No. 2
original 🗣️ → organ 🗣️ pan flute 🗣️ ocarina 🗣️



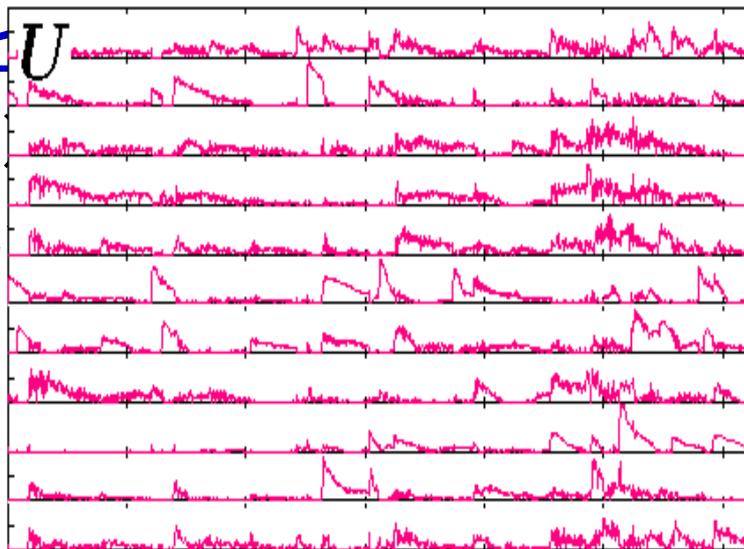
■ Convert parameter estimates into MIDI

“Nocturne (F.F.Chopin)”
“For Two (H. Chubachi)”



非負値行列分解 (NMF) による多重音解析

- スペクトログラムの **生成モデル** と
 - 単音モデル: 「単スペクトル」(基底)
 - 多重音モデル: 単音モデルの重ね

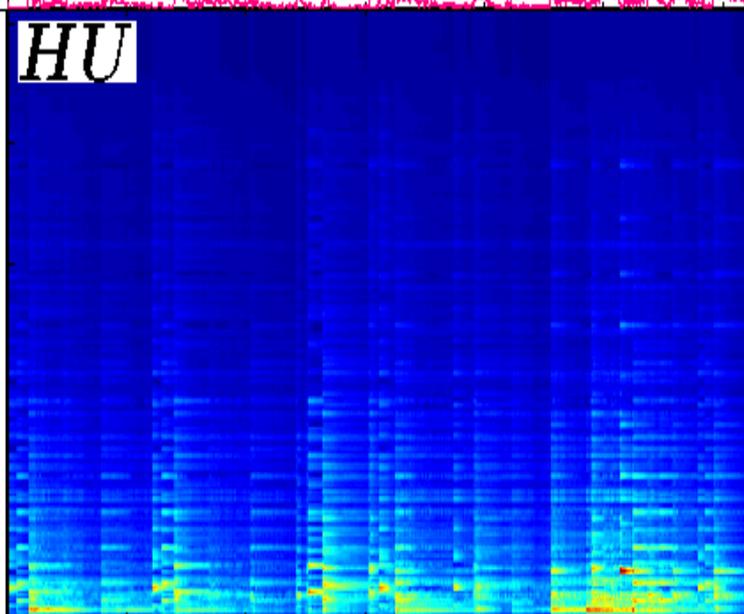
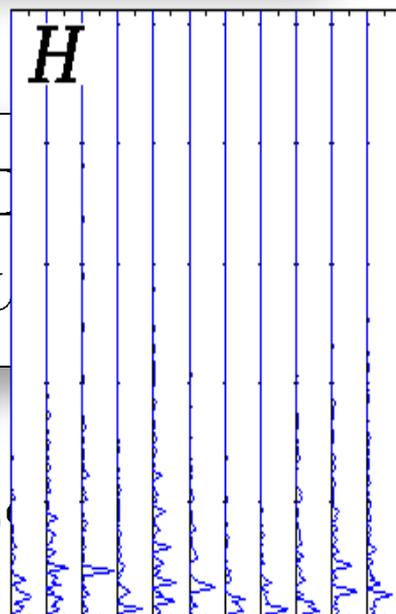


NMF: $Y_{\omega,t} \approx \sum_{d=1}^D H_{\omega,d} U_{d,t}$

観測
基底
時間包絡



minimize $\mathcal{J} = \sum_{\omega,t} \mathcal{D}(Y_{\omega,t} | \sum_{d=1}^D H_{\omega,d} U_{d,t})$
 :
 subject to $\forall_{\omega,d} H_{\omega,d} \geq 0, \forall_{d,t} U_{d,t} \geq 0$
 to :



$$\mathbf{H} = (H_{\omega,d})$$

Kalliope – 音符操作

- 多重音分離・操作・再合成 → [mp4](#)

楽音の同一性認知の数理モデル Kalliope

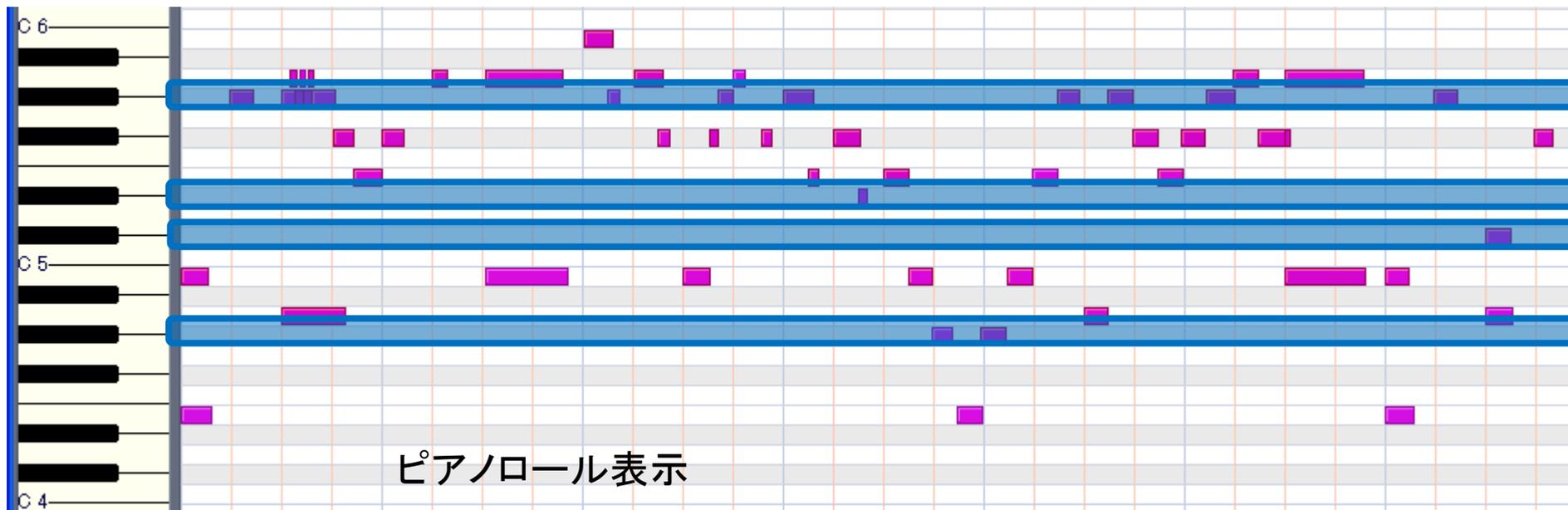
中野 允裕 小野 順貴 嵯峨山 茂樹
(嵯峨山グループ)

デモ: 音楽の音符単位の加工

- J.S.バッハ: 無伴奏バイオリンパルティータから「ガボット」
 - ビブラートがある多重音 → 分解 → ピッチ変換 → 再混合

元信号: 📢

短調っぽく加工した信号: 📢



音楽信号処理(主に信号系)

■ *Klio*: 和音認識、調の推定 - L

- 和音進行をHMMでモデル化 (1999)
- 機能同声モデル

■ RhythmMap: リズム認識 - L

- 複数の基本リズムの抽出と小節線位置推定: 鶏・卵問題
- 曲構造推定
- ジャンル/ムード認識へ応用

■ HPSS: 調波楽器・打楽器分離 - demo

- スペクトログラムを横長成分(調波音)と縦長成分(打楽器)に分離
- EMアルゴリズムをパイプラインで実時間実行

■ *Euterpe*: 歌唱成分抽出・除去 - L, 調・テンポ変換 - L

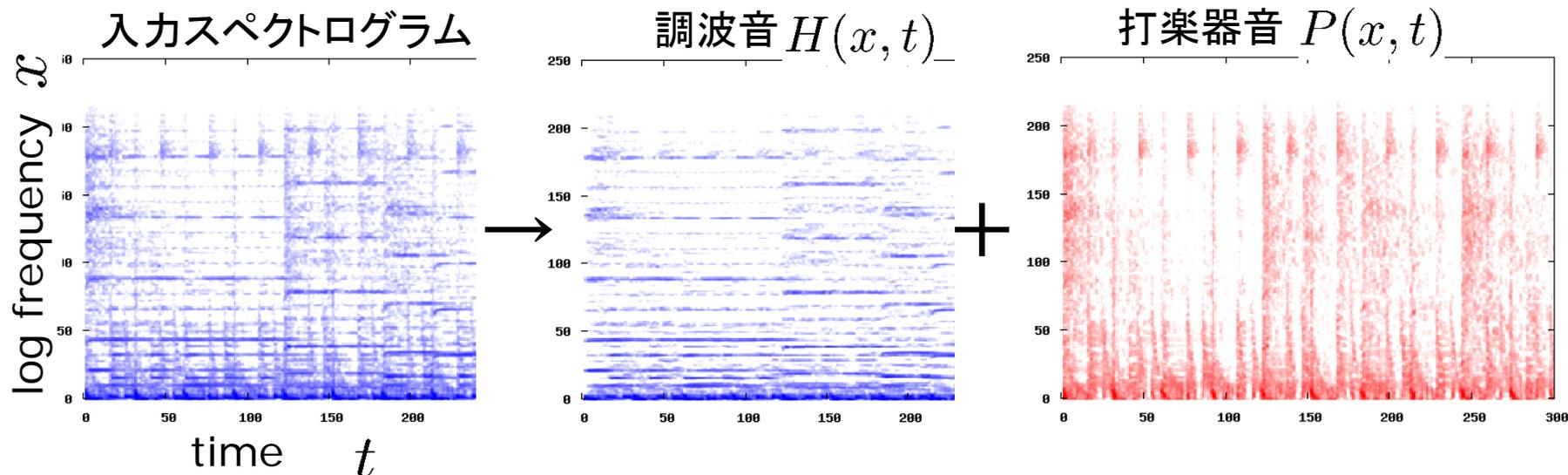
- 歌唱成分除去: HPSSの複数回適用
- 即席カラオケ作成



調波音・打楽器音分離

■ 調波音と非調波音の分離 [宮本]

- 時間方向に連続な成分(H成分)と周波数方向に連続な成分(P成分)への分割: 目的関数最小化:
HPSS (demo)



Euterpe – カラオケ作成

- 歌唱成分抽出・除去、調・テンポ変換 → [mp4](#)

カラオケ(マイナスワン)演奏生成システム Euterpe

橘 秀幸 水野 優 小野 順 嵯峨山 茂樹
(嵯峨山グループ)

音楽信号処理(主に信号系)

■ パワースペクトルの位相復元

- 短時間パワースペクトルの系列から波形を生成
- 反復演算により位相を復元しパワースペクトルを近似

■ 楽器認識

- 合奏中の個別楽器認識

■ 音楽ジャンル認識、ムード認識

■ 音楽構造推定



作曲する機械： ＜音楽情報処理＞

■ *Eurydice*: 自動伴奏、楽譜追跡 – S

- 人間は MIDI ピアノを演奏、左手・アンサンブル・オーケストラが伴奏
- テンポ変動、弾き間違い(脱落、挿入、置換)、任意ジャンプを許容
- HMM の典型的応用

■ *Orpheus*: 自動作曲 – M

- Web上の歌唱曲自動作曲サービス
- 累積で100,000 曲を生成; “orpheus” のGoogle検索一位
- 動的計画法(DP)による各種制約下の最適経路問題

■ *Polyhymnia*: 自動演奏 – S L

- 楽譜から人間的なピアノ演奏を自動生成
- 人間の和音演奏に着目; コンテストRENCON 2010 で1位
- 条件付きマルコフ場(CRF)で定式化



■ ピアノ運指決定 - S

- 無理のない最適な指遣いを決定 (ギターも研究中)
- HMMをピアノ曲生成モデルとして、Viterbi探索問題として定式化

■ 作曲者認識

- 音楽学的楽曲スタイル分析を自動化
- MIDIデータから作曲者推定

■ リズム認識

- MIDIデータから楽譜を復元
- 音長変動、テンポ変化・変動・急変
- 複数パートの独自リズム

■ 自動和声解析・和声づけ

- 確率文脈自由文法(PCFG)による自動和声解析 [諸岡]
- 部分経路制約動的計画法による自動和声解析[深山]

■ 自動対位法

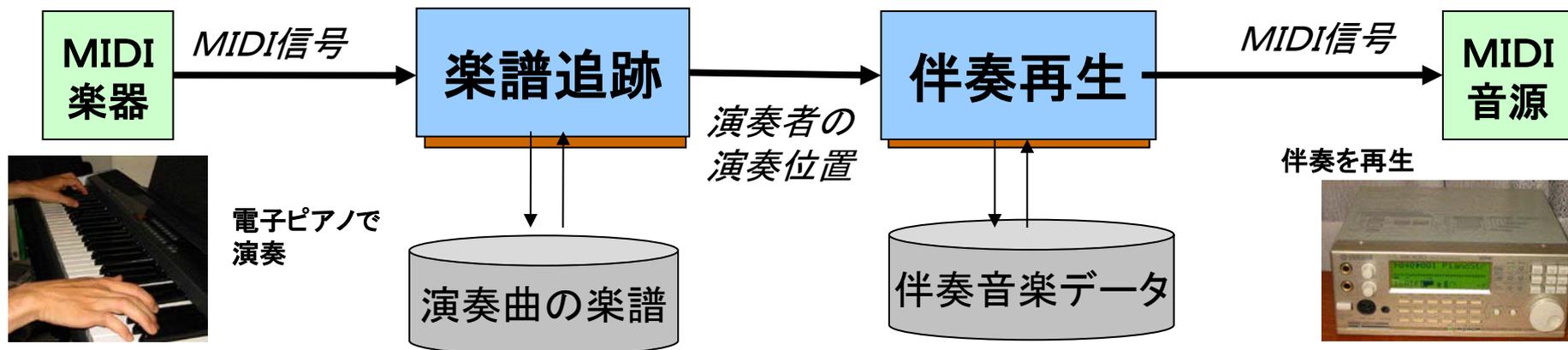
- 動的計画法による自動対位法 [中潟]
- 主題への模倣を行う自動対位法 [田中2010] → [Tanaka2010MUS02]



- 人間は確率で生活している
 - ジュースを飲む ← 毒が入っている確率が低いから
 - 電車に乗る ← 事故に遭う可能性は低いから
 - 人と話す ← 相手が頷くから、理解している確率が高い
- 実は生きるために必須
 - 経験、常識、偏見、先入観、勘違い、...
- 機械が人間と同様の働きをするには ...
 - 確率モデル: どのような確率構造に支配されているか数式化
 - モデルの統計学習: 経験からモデルパラメータを推定
 - 確率計算: モデルに基づいて、観測から確率計算

自動伴奏 <Eurydice>

- 人の演奏に他パートが連いてくる (詳細ppt)
 - ピアノ協奏曲、ピアノ三重奏、連弾、ピアノ曲の片手練習、etc.
- 楽譜既知、演奏追跡問題 (誤りあり、ジャンプあり)
- 問題: 人間の演奏では楽譜 (MIDI) 通りに弾かれない
 - テンポ変動 (→ 子犬のワルツ)
 - 弾き誤り、音抜け、余分な音 (→ 幻想即興曲)
 - 弾き直し、曲内ジャンプ → (→ コンチェルト、五重奏)
 - 伴奏部の自動演奏: 人間に合わせたテンポ変動
- 5万円ノートPCで軽快動作 [Video: 解説とデモ
(→ 水野: 軍隊行進曲@140, 軍隊行進曲@141, Rachmaninoff Piano Concerto II)]
- demo, 発表video (20分), 「世の中進歩堂」2010/2/7 (●先頭: 自動伴奏 自動伴奏 音楽工学 スタジオで終)) 「爆問学問」2010/7/



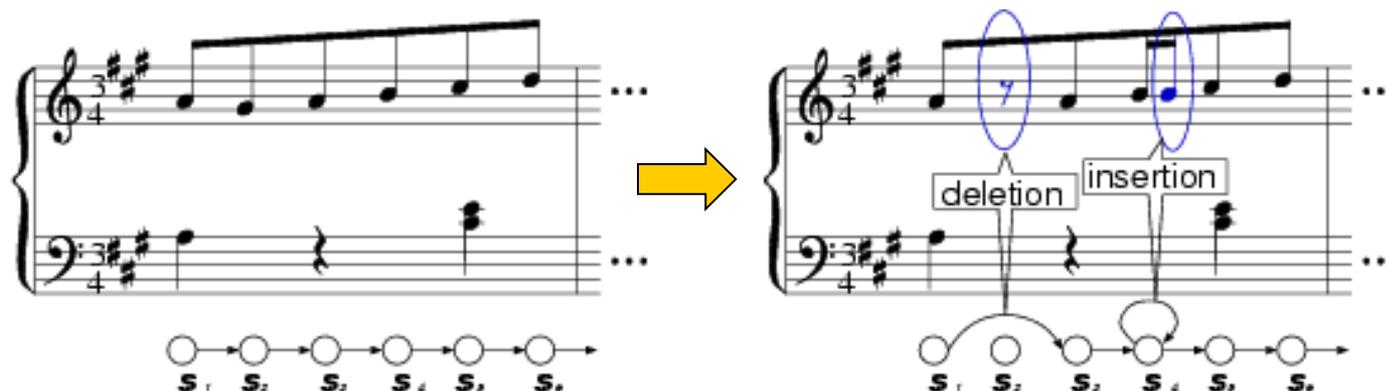
自動伴奏デモ → [mpg](#)

自動伴奏システム

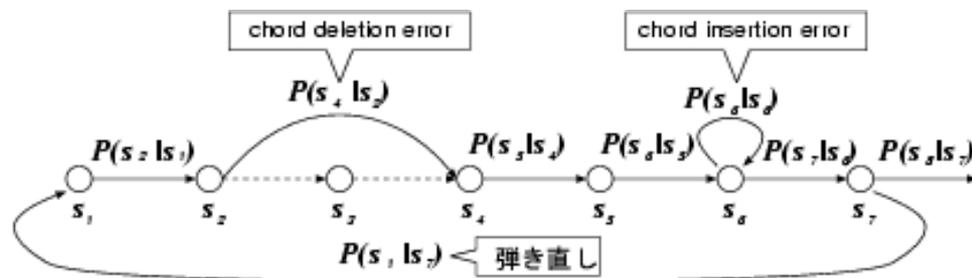
武田晴登（東京大学）

自動伴奏の原理:HMM

- 音楽分野へHMMの導入(1999)は嵯峨山Gが世界初？
 - 和音[川上1999]、リズム[齋藤1999]
- 音符を隠れ状態とするHMM(隠れマルコフモデル)



- 状態遷移として演奏を表現
 - 誤りのない演奏:隣接する状態に順次遷移
 - 挿入誤り:同じ状態に滞在
 - 脱落誤り:状態遷移
 - 弾き直し:前の状態に戻る
 - スキップ:先の状態に遷移



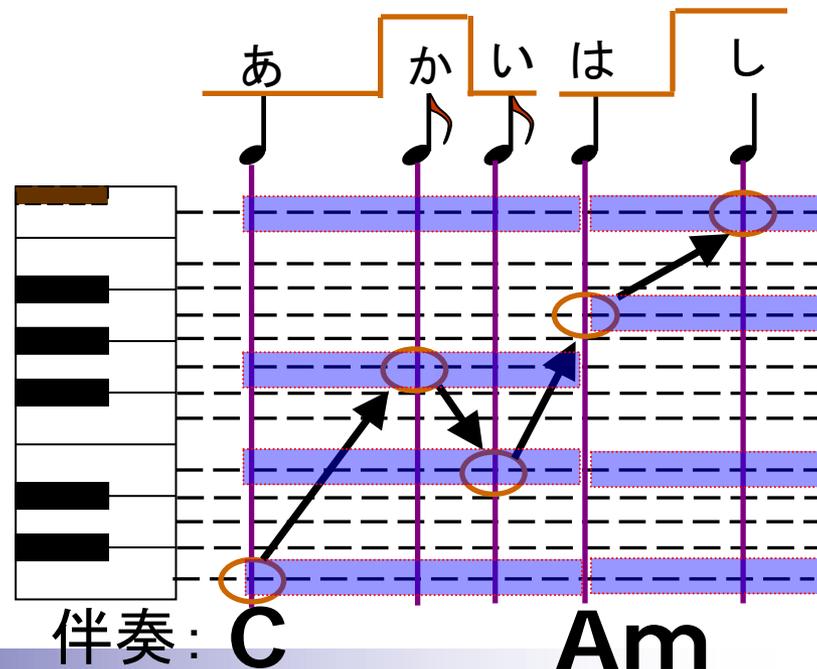
自動作曲 <Orpheus>

- 日本語歌詞入力から作曲、合成音声で歌唱(伴奏つき)
- 音楽を要素分解、再構成
 - 和声進行、リズム、伴奏音形、楽器選択、.....
 - 日本語歌詞の韻律を利用、音楽理論にも忠実
 - (作曲例:「どんぐりころころ」)
- 旋律の種類: ほぼ無限
 - 「吾輩は猫である」を4拍子2小節に: 各音高「ドレミファソラシドレミ」の10通りの10乗、音価は16から10個選ぶ組み合わせ → 6京通り

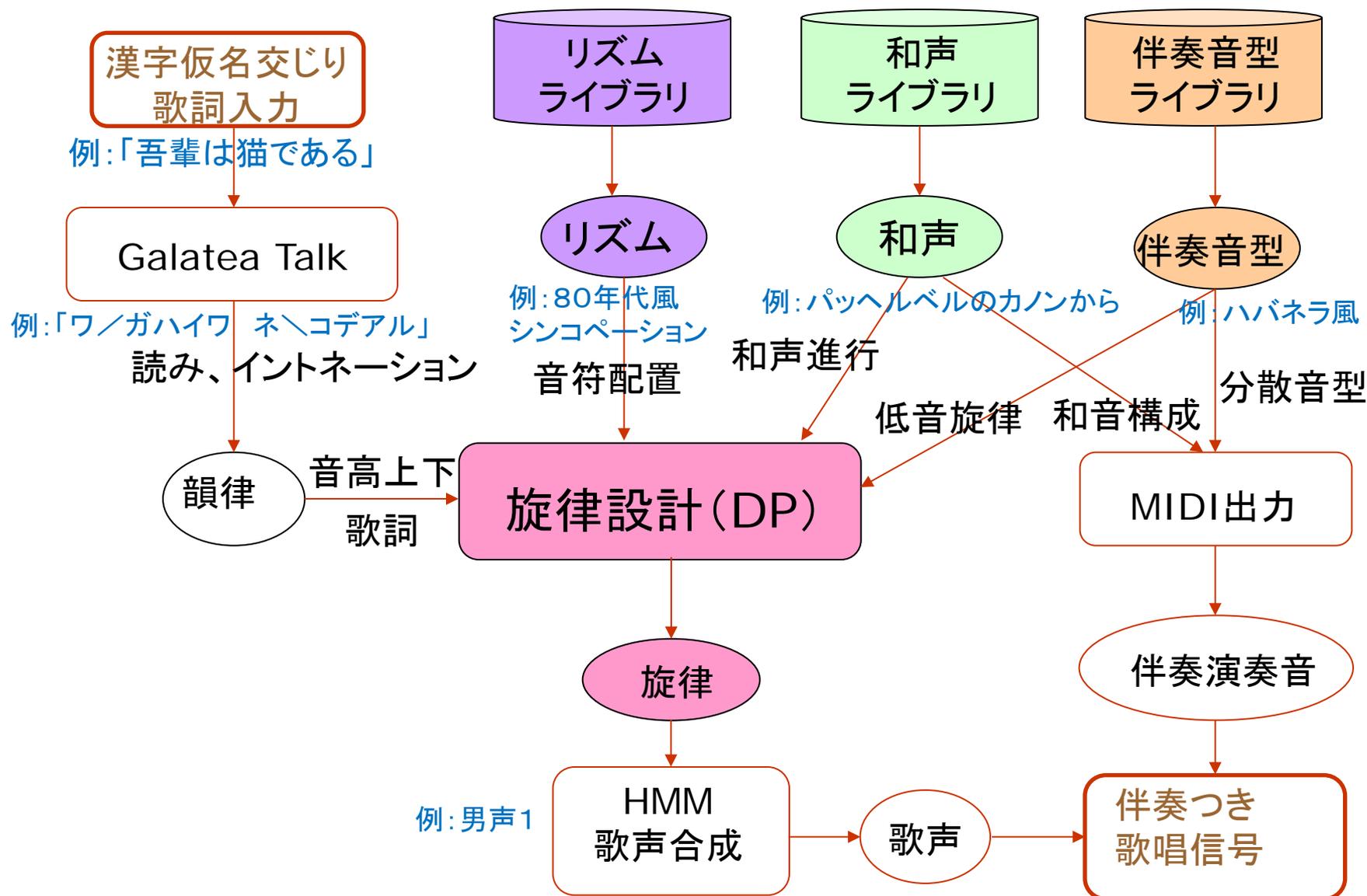


- 自動作曲の原理: 動的計画法
 - 様々な条件を最大限同時に満たす「旋律経路」を探索する

作曲の条件	経路の制約
歌詞のモーラ数	音符(端点)の数
歌詞の韻律	音程の上下へのペナルティ
伴奏の和音進行	音の出現確率の重みづけ
伴奏のベースライン	音の遷移確率の重みづけ



歌唱曲自動作曲システム Orpheus の構成



自動作曲の動機

- 作曲は子供のころからの夢だった。作曲法も勉強したし曲も書いた。しかし、他人の曲はいいと思うのに、自分で作った曲はどれも気にいらぬ。
- **ならば、機械に作らせよう。** それなら自分の曲であって、自分の曲ではない。それならいつかは気にいるかも知れない。
- こうしてこの研究は始まった。長い道のりだろうが、喩えていえば、画家を諦めて、写真術を開発した人のように。





$\text{♩} = 80$

作曲は子供のころからの夢だった。作曲法

sa kyo ku wa ko do mo no ko ro ka ra no yu me da ta

も勉強したし曲も書いた。しかし、他人の曲

sa kyo ku ho o mo be N kyo o shi ta shi kyo ku mo ka i ta

はいいと思うのに、自分で作った曲はどれ

shi ka shi ta ni N no kyo ku wa i i to o mo u no ni ji bu N de tsu ku ta kyo ku wa do

も気に入らない。ならば、機械に作らせよう。

re mo ki ni i ra na i na ra ba ki ka i ni tsu ku ra se yo o so re na ra ji bu N

それなら自分の曲であって、自分の曲では

no kyo ku de a te ji bu N no kyo ku de wa na i so re na ra i tsu ka wa ki ni

ない。それならいつかは気に入るかも知れな

i ru ka mo shi re na i

い。こうしてこの研究は始まった。長い道

ko o shi te ko no ke N kyo u wa ha ji ma ta

のりだろうが、喩えていえば、画家を諦

na ga i mi chi no ri da ro o ga ta to e te i e ba ga ka o a ki ra me te

めて、写真術を開発した人のように。

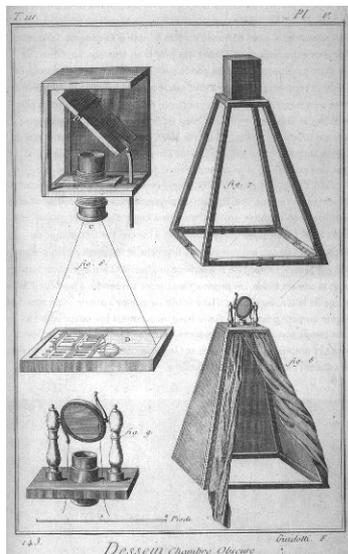
sha shi N ju tsu o ka i ha tsu shi ta hi to no yo o ni

$\text{♩} = 60$

自動作曲の将来

■ 肖像画描き → カメラ の歴史

- 手描き → Camera Obscura → デジカメ → 携帯
- 写実性は写真へ移行、絵は芸術に、しかし**写真芸術**も誕生



① <http://ja.wikipedia.org/wiki/ファイル:ル:Studijskifotoaparat.JPG>

② <http://ja.wikipedia.org/wiki/%E3%83%95%E3%82%A1%E3%82%A4%E3%83%AB:Leica-I-1.jpg>

■ 作曲家 → 自動作曲 の歴史が始まった？

- 自動作曲芸術？ → **爆笑問題との議論**

日本語歌詞からの二重唱作曲例

■ 異なるリズムの例

「作曲に行き詰ったら」開発チーム
作曲に行き詰ったら、
オルフェウスを試してごらんよ。
きっと発想転換のヒントになって、
また一歩前進できるよ。

♩ = 112

D Bm⁷ E⁷ A F#m C#⁷

さ きよ く に い き ず ま た
さ きよ く に い

F#m⁷ F#m D Bm⁷ E⁷ A

ら おるふえう す おた め し て ご ら ん よ き と は
き ず ま た ら おるふえう す お た め し て ご ら ん よ

F#m C#⁷ F#m⁷ F#m

そ お て ん か ん の ひ ん と に な て ま た い
き と は そ お て ん か ん の ひ ん と に な て

D Bm⁷ E⁷ A

ぼ ぜ ん し ん で き る よ
ま た い ぼ ぜ ん し ん で き る よ

日本語歌詞からの作曲例

■ 三重唱の例

- 声部間でずれたリズム
- 和声的対位法

♩ = 80

Chords: Eb, Cm7, F7, Bb, Bb, Dm7

Lyrics: そらにまかなく / そらにまかな / そらにまかな

「思ひ出」北原白秋
空に真赤な雲のいろ。
玻璃に真赤な酒の色。
なんでこの身が悲しかる。
空に真赤な雲のいろ。

Chords: Bb, Dm7, Gm7, Gm7, Eb, Cm7

Lyrics: このみがかなしかるそらにまかなく / んでこのみがかなしかるそらにまかな / なんでこのみがかなしかるそらにまかな

- <http://www.orpheus-music.org/v3/>
 - 「自動作曲」「オルフェウス」などで検索
 - 作曲数: 20万曲 (ver 2.1) + 13万曲 (ver 3)
 - 作品アクセス数: 250万回 (ver 3, 2012/8/28-2013/4/19)
- Ver 2 のメディア報道など
 - 2011年9月25日 テレビ東京「さまぁ〜ZOO」
 - 2011年8月7日 日本テレビ「スクール革命！」
 - 2011年6月21日 テレビ静岡「野性が見つめる新時代」
 - 2011年4月25日 ラジオ 81.3 FM J-WAVE "Hello, World"
 - 2011年4月24日 読売TV「大阪ほんわかテレビ」 ○
 - 2011年3月6日、TBS「革命×テレビ」
 - 2010年12月17日、フジTV「聴くテレビ」
 - 2010年9月29日、テレビ朝日「ちょっとだけ最先端バラエティ さきっちょ☆」
 - 2010年7月27日 NHK総合TV「爆笑問題のニッポンの教養」 ○
 - 2010年2月7日BSジャパン「世の中進歩堂」 [Or Eu I M]
 - 2008年10月11日 読売テレビ「朝パラ！」 ○
 - 2008年8月30日 フジテレビ「笑っていいとも! 増刊号」 ○

日本語歌詞からの作曲例

■ 数学が楽しくなる作曲



2以上のすべての自然数 n について

$$\sin \frac{\pi}{n} \cdots \sin \frac{(n-1)\pi}{n} = \frac{n}{2^{n-1}}$$

が つねに 成 立 す る こ と を 証 明 せ よ。

できるかな？ できるかな？ できるかな？
 できるかな？ できるかな？ できるかな？ できるかな？
 できるかな？ できるかな？ できるかな？

2以上のすべての自然数について

ユーザ作品例

「午後の紅茶」 僕

♪ 金曜日の午後にオルフェウスで作曲する僕 / カフェオレを飲みながら / 明日は海に行こうか なんて / 思いを巡らせながら / Sさんはいつもミルクティー / 駅前の喫茶店で / 話をしたいけれど / 野暮な性格がバレちゃまずい / ああ幸せはどこからやってくるのでしょうか / ある日突然舞い降りてくるのですか？ / いいえ、よく見なさい / あなたの周りは幸せで満たされています / Alone again / Orpheus is a god tool / Alone again / God made Orpheus ♪

午後の紅茶



僕

♩ = 112
G# B# E# B7

きんよ
きんよお

E D G E
おひのごごにおる ふえうすで さきよくするぼく かふえお
ひのごごにおる ふえうすで さきよす るぼく かふえおれ

A A G#m7 C#m
31
お おん あげ いんごど
お おん あげ いんごど

6
33 D#° D#° G#sus4 G#
めいど おるふえうすう
めいど おるふえうすう

35 D#° D#° G#sus4 rit. G#
rit.

究極目標：自動採譜

- 多重音解析
- 楽器音認識
- リズムモデル
- 歌詞認識
- 音楽構造モデル
- 音楽スタイル
- 作曲理論

まとめ

- 音楽を理解し、作り出すコンピュータ
- 音楽信号のスペクトル解析、逆問題
 - 多重音解析、音源分離・加工、和声解析、リズム解析、楽器認識、ジャンル推定、楽曲検索、...
- 音楽情報の確率モデル、逆問題
 - 自動作曲、自動伴奏、自動演奏、自動編曲、運指決定、...

