

音楽情報処理 (第3回)

インタラクティブ 音楽システム

片寄晴弘

関西学院大学工学部情報工学課程

本日のメニュー

- インタラクティブ音楽システム
 - 自動伴奏システム
 - 指揮システム
 - セッションシステム
 - 新世代楽器
 - その他
- アルゴリズム例
 - 動的計画法（自動伴奏システムマッチャー）
 - Continuator のアルゴリズム

音楽情報処理の歴史的概観 (～2010)

1960 1970 1980 1990 2000



本日のメニュー

- インタラクティブ音楽システム
 - 自動伴奏システム
 - 指揮システム
 - セッションシステム
 - 新世代楽器
 - その他
- アルゴリズム例
 - 動的計画法（自動伴奏システムマッチャー）
 - Continuator のアルゴリズム

自動伴奏システム

(R. Dannenberg 1984~)



自動伴奏システム・指揮システム

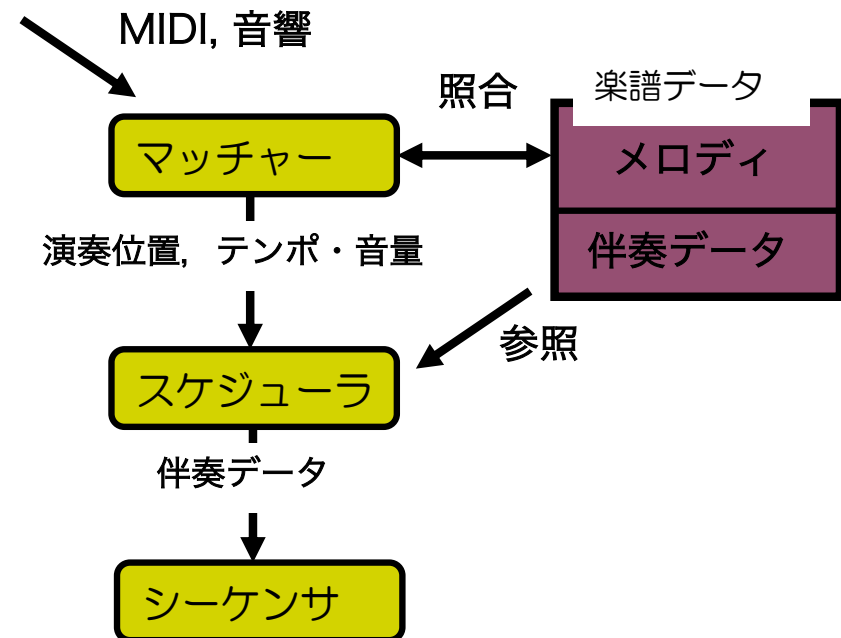
- ・ 楽譜をベースに演奏に追従するシステム

黎明期 (1984~)

(R. Dannenberg 1984~, B. Vercoe 1984~)



- ・ R. Dannenberg
 - ・ 頑健なマッチングアルゴリズム
 - ・ 実音響への対応
 - ・ 和音, ビブラートへの対応
- ・ B. Vercoe
 - ・ リハーサル機能

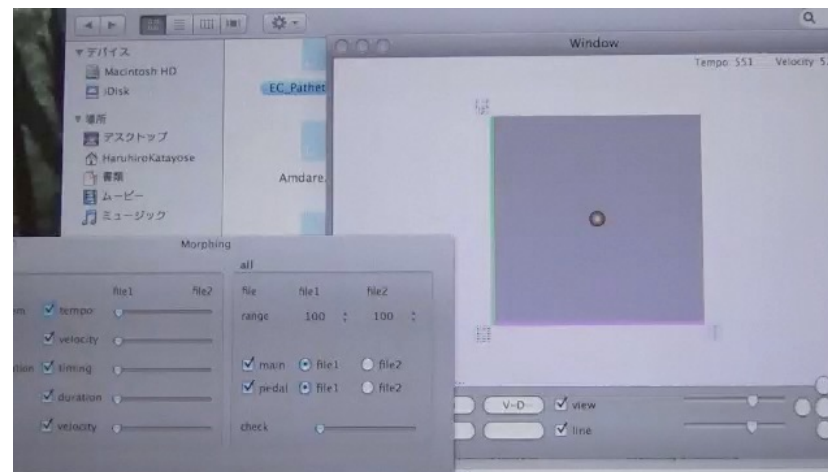
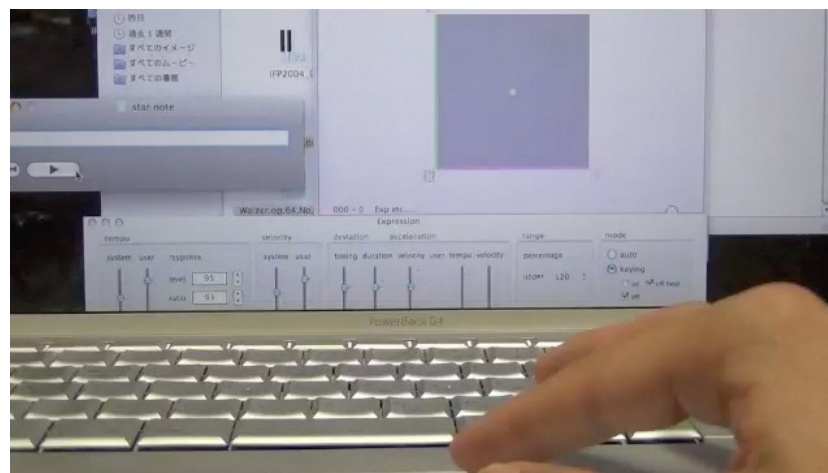


自動伴奏システム（発展）

- 意図・自主性, 演奏意図
 - スケジューラーの検討（堀内 1995～）
 - 名演奏のなぞり（奥平, 片寄 2003～）
- 応用
 - 追従型カラオケ（片寄 他 1993）
 - Family Ensemble（大島, 西本 2004～）
- マッチャーの数理的高精度化
 - Orchestra In a Box（C. Raphael 2003～）
 - 武田他のシステム（2007～）

自動伴奏システム iFP

- ・名演奏のなぞり（奥平, 片寄 2003～）
- ・表情テンプレートの利用
- ・演奏情報の可視化
- ・意図のコントロール（+モーフィング）



自動伴奏システム応用



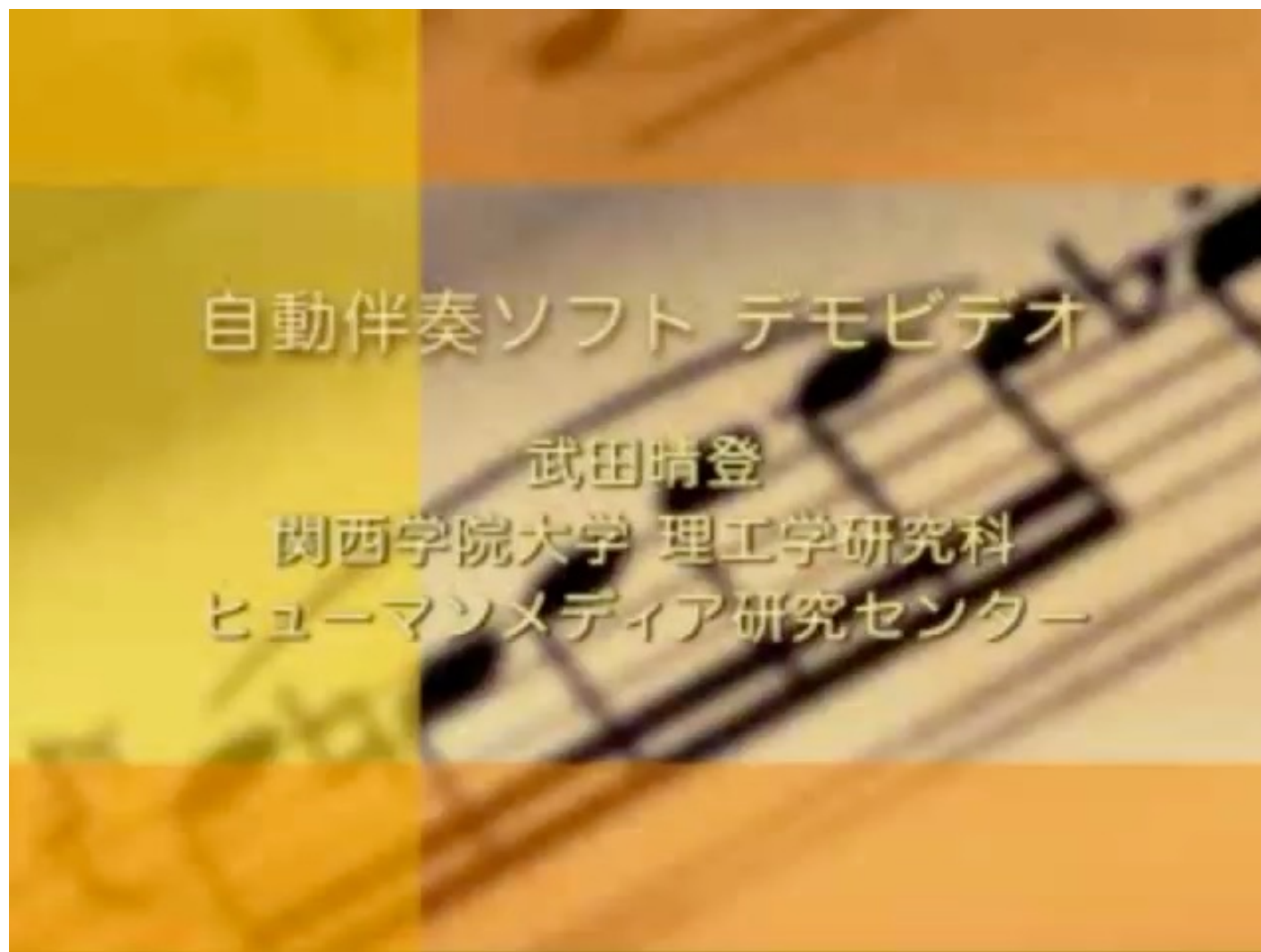
追従型カラオケ (片寄他 1993)
ピッチ抽出と自動伴奏システムの
組み合わせ



Family Ensemble (大島他 2004)

自動伴奏システム (武田他 マッチャーの高度化 2007)

HMMの利用, 和音にも対応



本日のメニュー

- インタラクティブ音楽システム
 - 自動伴奏システム
 - 指揮システム
 - セッションシステム
 - 新世代楽器
 - その他
- アルゴリズム例
 - 動的計画法（自動伴奏システムマッチャー）
 - Continuator のアルゴリズム

故 Max Mathews (いろいろと大先生)

Radio Drum 指揮インタフェースとしての利用

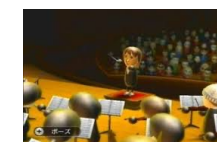
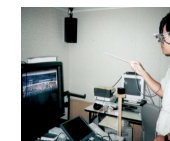
Boie, R. Mathews, M. Schloss, A. The radio drum as a synthesizer controller, in Proc. Int. Computer Music Conf. (ICMC'89)



See <https://www.youtube.com/watch?v=3ZOzUVD4oLg>

指揮システム（関連研究いろいろ）

- Radio Drum (M. Mathews 1987)
- 画像処理による指揮検出 (Leonello Tarabella/CNR 1988)
- Data Glove の利用 (森田, 大照 1989)
- 加速度センサ, HMMの併用 (宇佐, 持田 1997)
- Conductors Jacket (Teresa M. Nakra 1999)
- sFP iFP (奥平, 片寄 2003)
- Orchestra In a Box (C. Raphael 2003~)
- Wii music (任天堂 2008~)
- iFPmj, Aiim (馬場, 橋本 2008~)
- Virtual Philharmony (馬場, 片寄 2010)



指揮システム

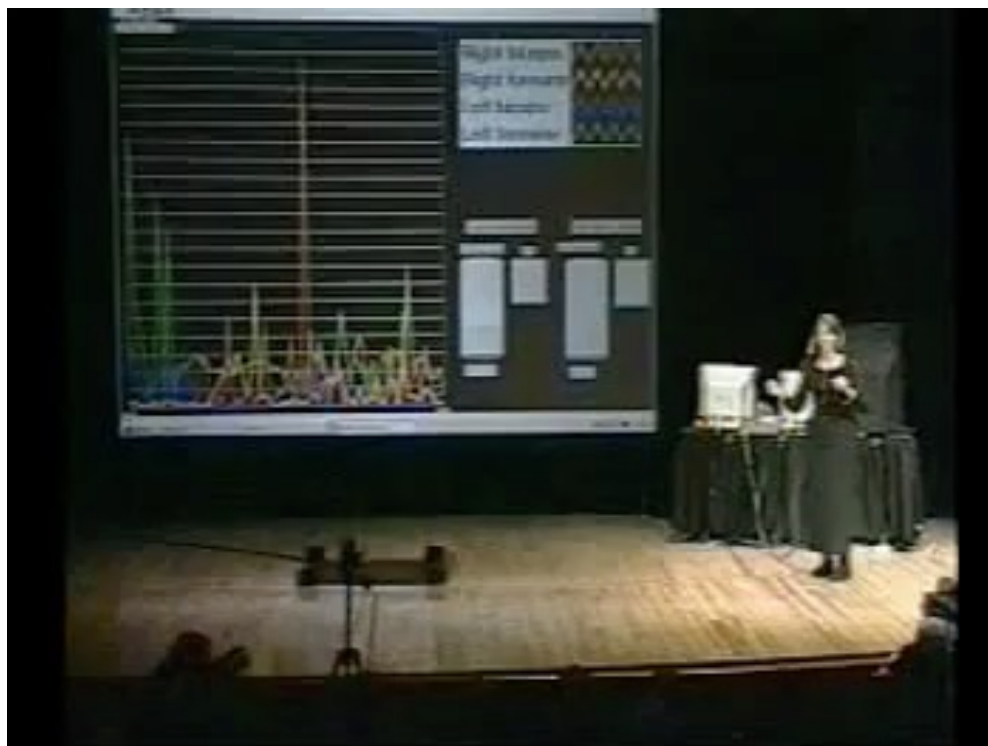
Data Glove の利用 (森田, 大照 1989)



指揮システム

Conductors Jacket(Teresa M. Nakra 1999)

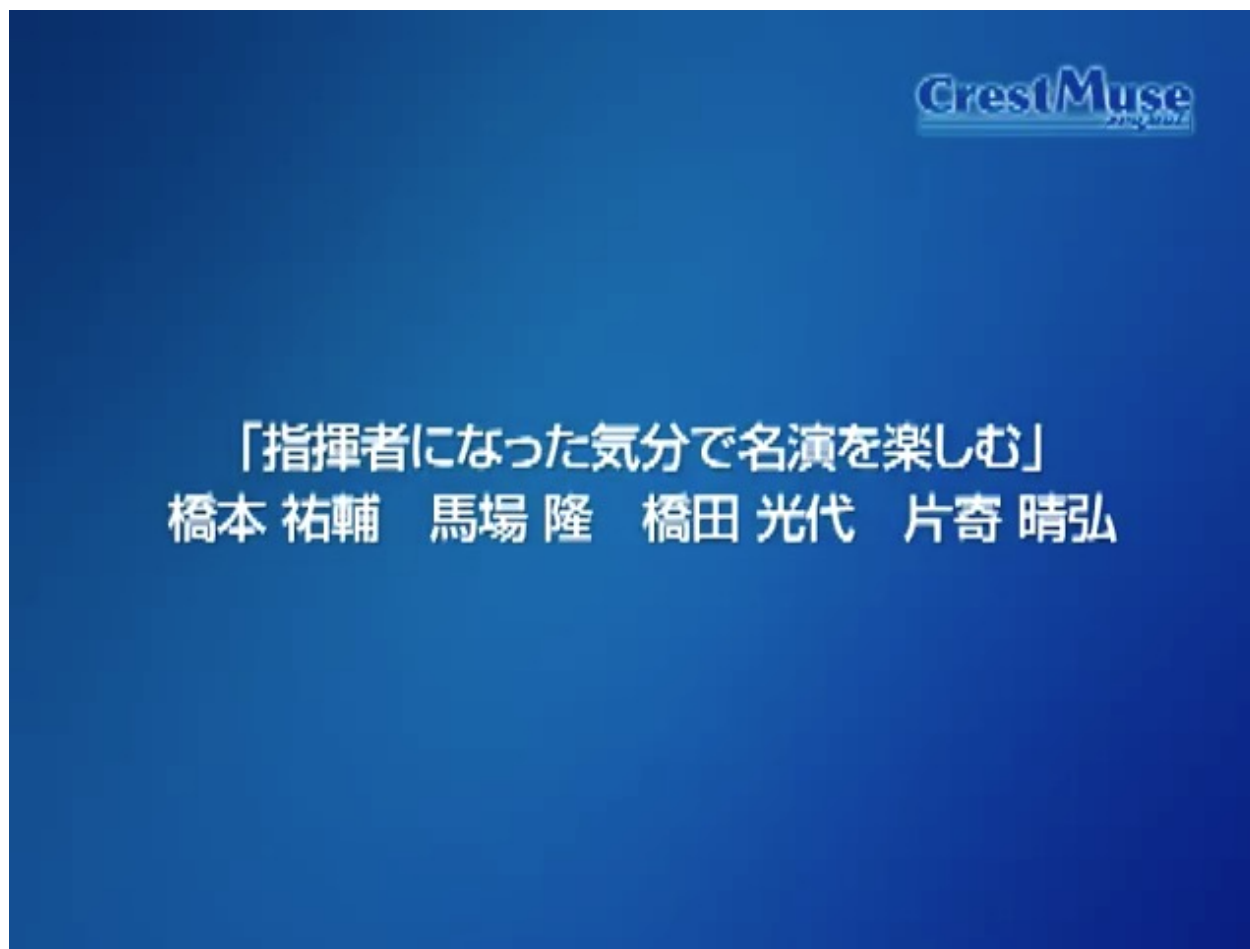
<https://www.youtube.com/watch?v=Lnpj7MSRFYM>



指揮システム

iFPmj, Aiim (馬場, 橋本 2008~)

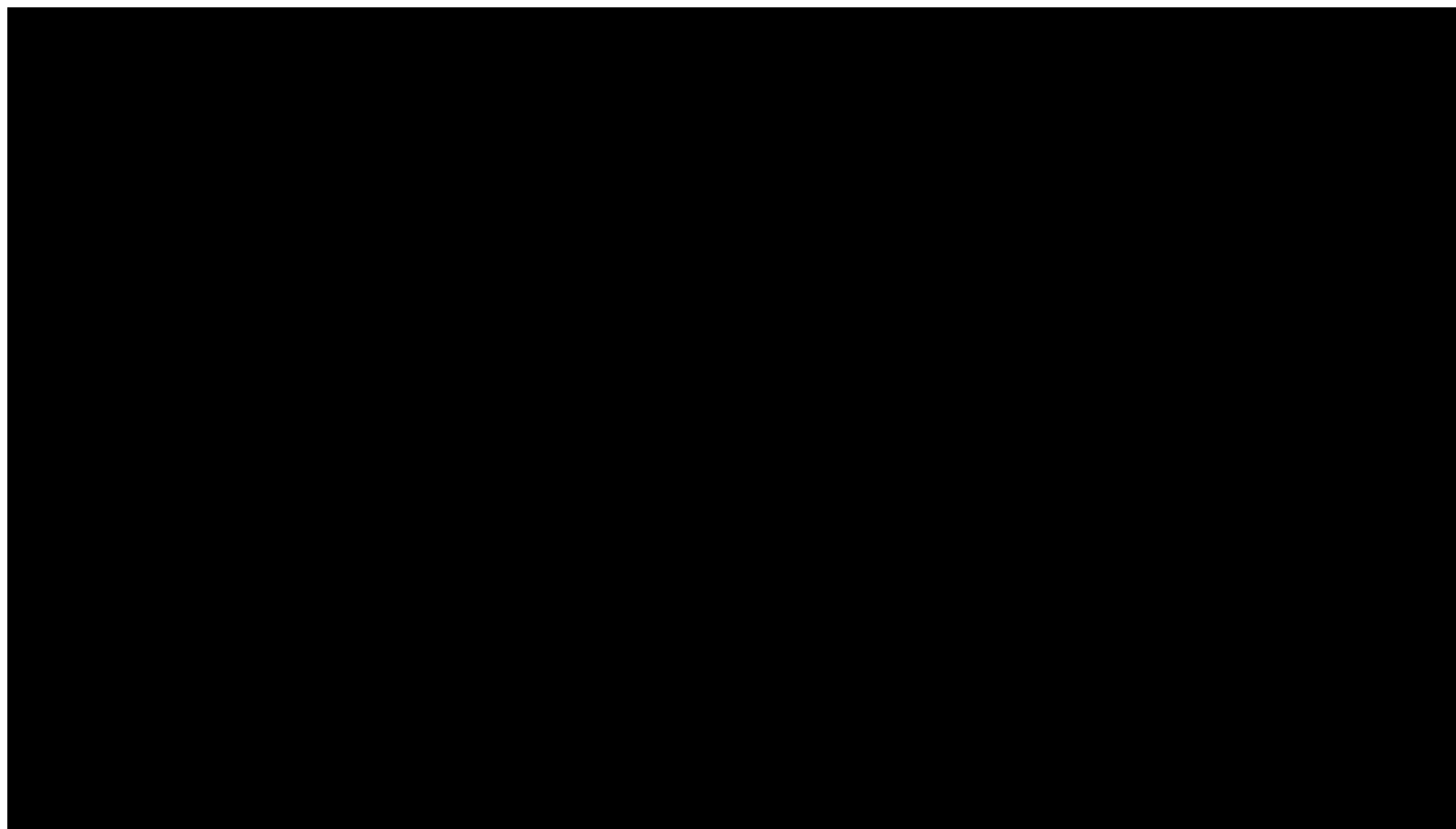
<https://www.youtube.com/watch?v=2TghdOApISE>



指揮システム

Virtual Philharmony (馬場, 片寄 2010)

<https://www.nicovideo.jp/watch/sm12891798>

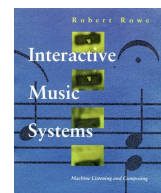


本日のメニュー

- インタラクティブ音楽システムいろいろ
 - 自動伴奏システム
 - 指揮システム
 - セッションシステム
 - 新世代楽器
 - その他
- アルゴリズム例
 - 動的計画法（自動伴奏システムマッチャー）
 - Continuator のアルゴリズム

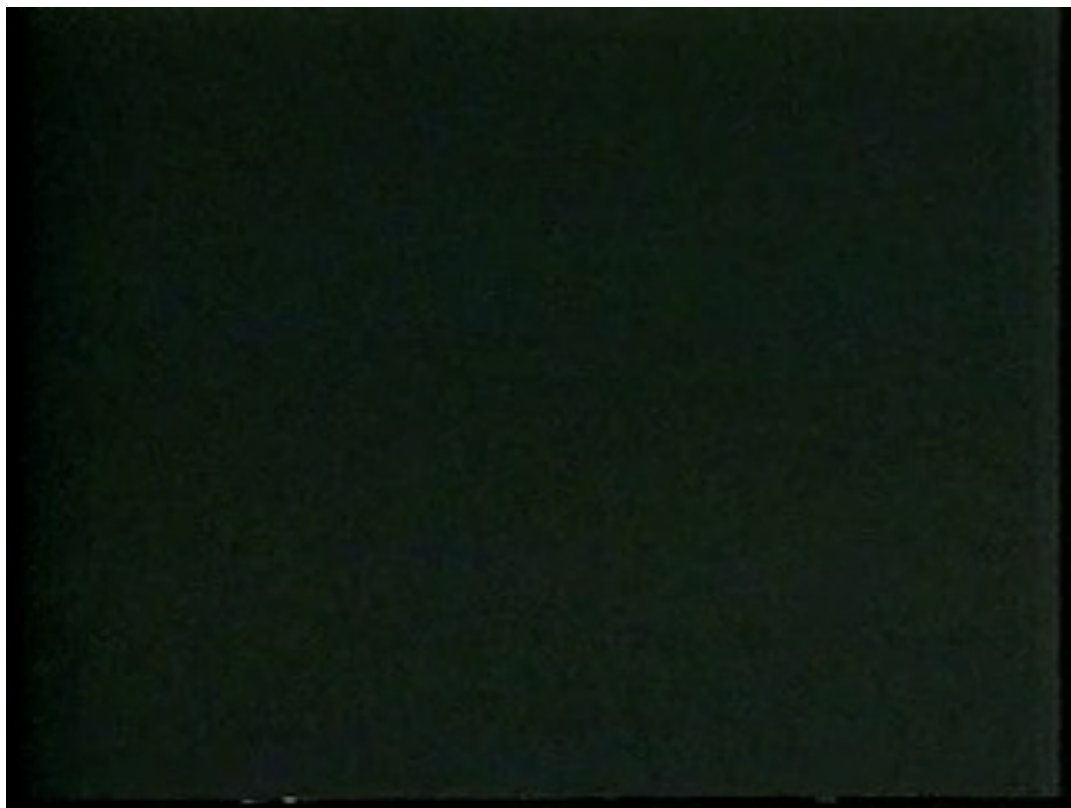
セッションシステム (いろいろ)

- ブルース伴奏 (R. Dannenberg 1989)
- Neuro Musician (西嶋 1990)
- Cypher (R. Rowe 1992)
- Jasper (和気, 井口 1994)
- BandMaster, ADLIBAND
(青野, 片寄, 井口 1994, 1998)
- Continuator (F. Pachet 2002~)
- Magenta Studio色々 (2015~)
Google TensorFlow (深層学習系)



セッションシステム

- (R. Dannenberg 1984~)



- 12barブルース制約
- ピッチ抽出
- ビート, keyの認識

セッションシステム

- Jasper (和気, 井口 1994)
盛り上がり度を検出→応答



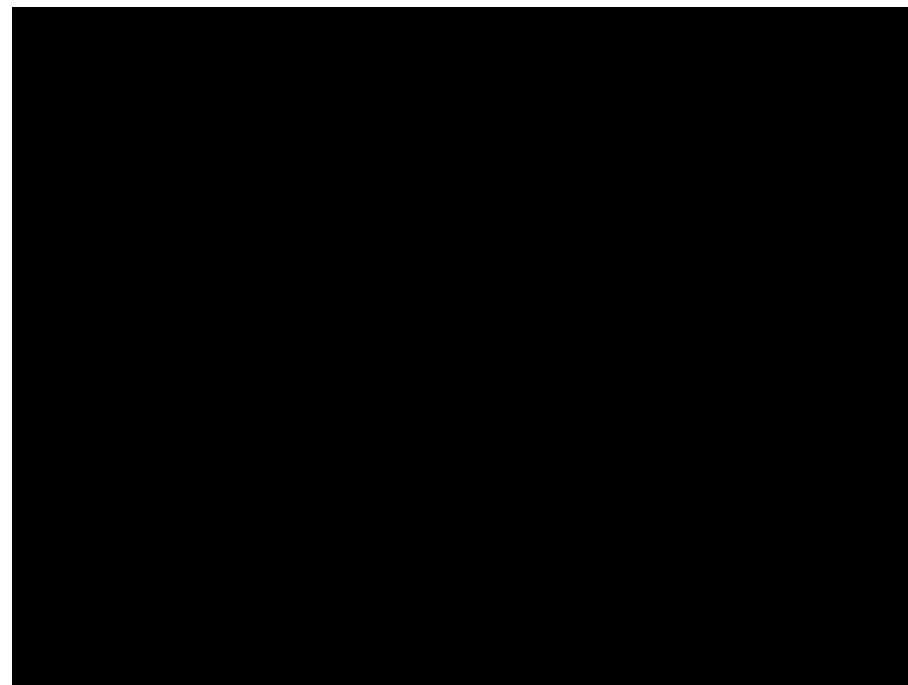
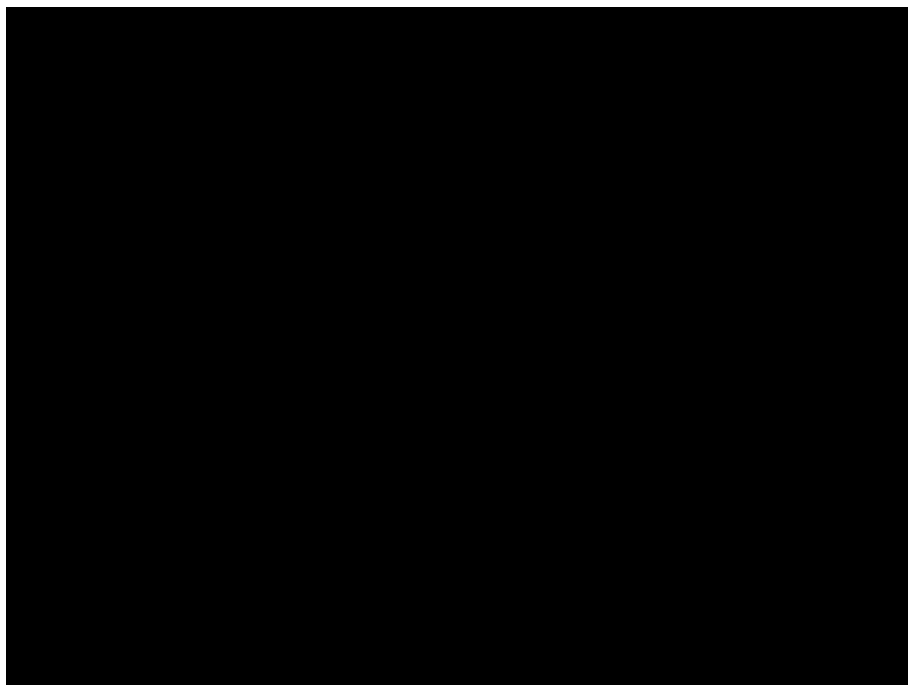
セッションシステム

- BandMaster, ADLIBAND
(青野, 片寄, 井口 1994, 1998)
- 音のやりとりだけで、演奏ができあがる過程を再現



セッションシステム

- Continuator (F. Pachet 2002~)
 計算機が応答する形でアドリブを生成



<https://www.youtube.com/watch?v=RloE4ckZYgs>

<https://www.youtube.com/watch?v=1qnYwPmsKgl>

セッションシステム

Magenta Studio 色々 (Google TensorFlow系 2015~)

<https://magenta.tensorflow.org/>

<https://yotammann.info/>

<https://www.youtube.com/watch?v=0ZE1bfPtvZo>

Continuaor の深層学習実装版

深層学習系黒船来襲

- 領域知識の積み上げよりも学習データ！
- 着眼は重要！

本日のメニュー

- インタラクティブ音楽システム
 - 自動伴奏システム
 - 指揮システム
 - セッションシステム
 - 新世代楽器
 - その他
- アルゴリズム例
 - 動的計画法（自動伴奏システムマッチャー）
 - Continuator のアルゴリズム

新世代楽器 (いろいろ)

- Radio Drum (Boie, Mathes 1986)
- ビデオハープ (Rubine ら1988)
- サイバー尺八 (金森, 志村, 片寄1993)
- Bossa (Trueman, Cook 1999)
- Inspiration (谷井, 片寄 2001)
- Peacock (深山知香士 2010)
- Kezzardrix (神田君 活躍 2010年前後～)
- EyeHarp (EyeHarpプロジェクト 2014年前後～)

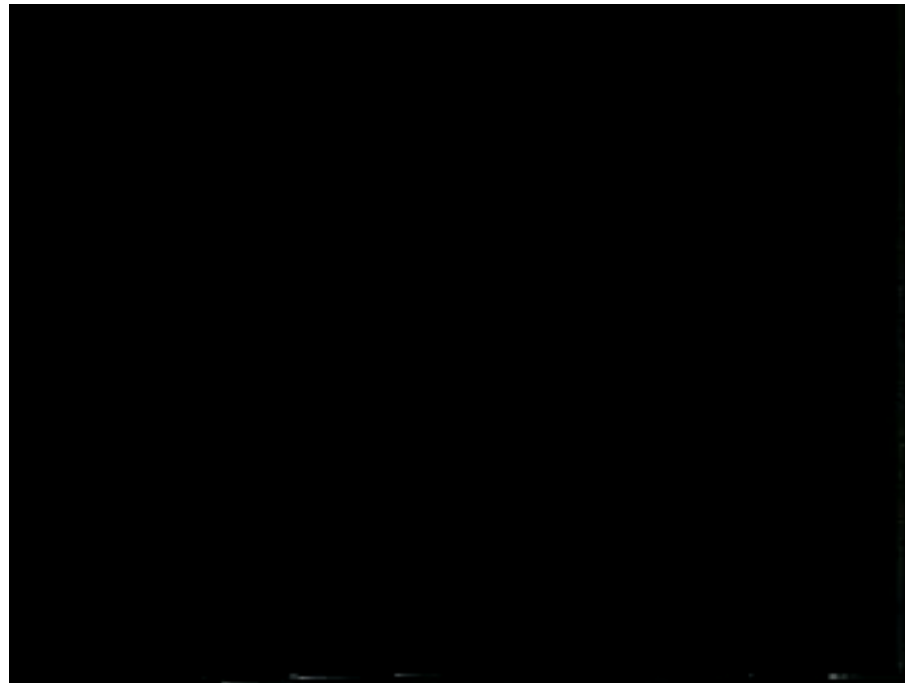
そしてこちらにも機械学習の時代へ

- [wekinator](#) (Fiebrink 2009～)
- GB-ABBX (大谷, 片寄)

故Max Mathews (いろいろと大先生)

Radio Drum (Radio Baton)

Boie, R. Mathews, M. Schloss, A. The radio drum as a synthesizer controller, in Proc. Int. Computer Music Conf. (ICMC'89)



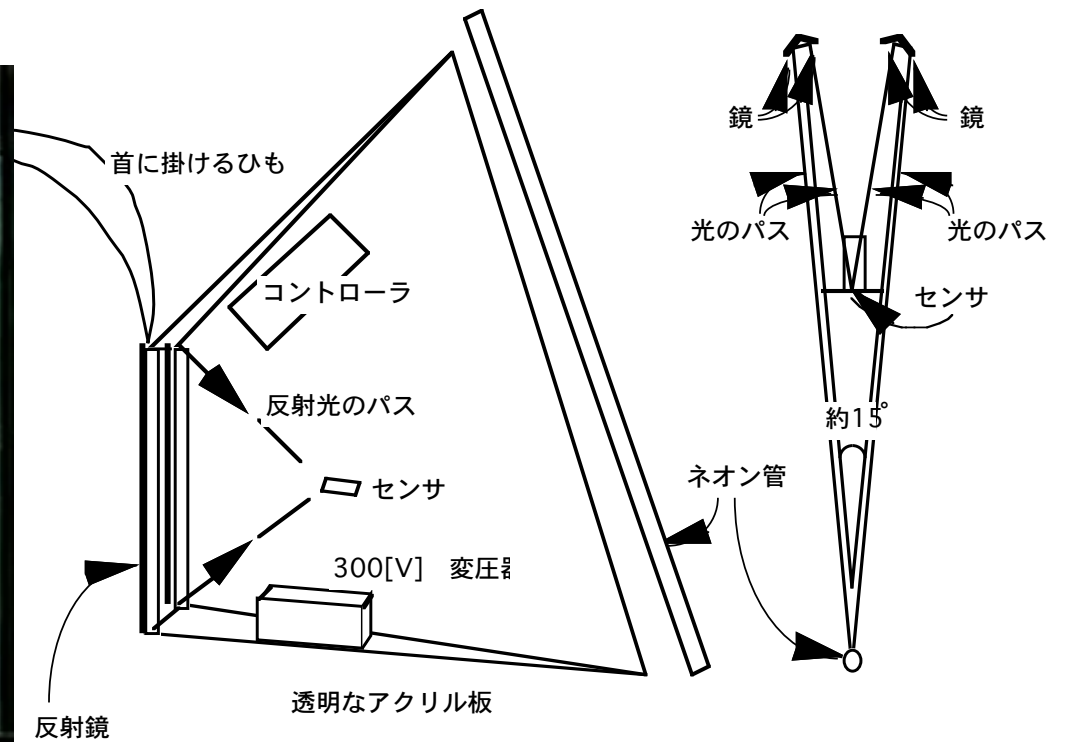
See <https://www.youtube.com/watch?v=3ZOzUVD4oLg>

新世代楽器

ビデオハーブ (Rubine ら1988)

◆分解能

- フォトセンサの入射角：0.25度
- 時間分解能：33.3ms

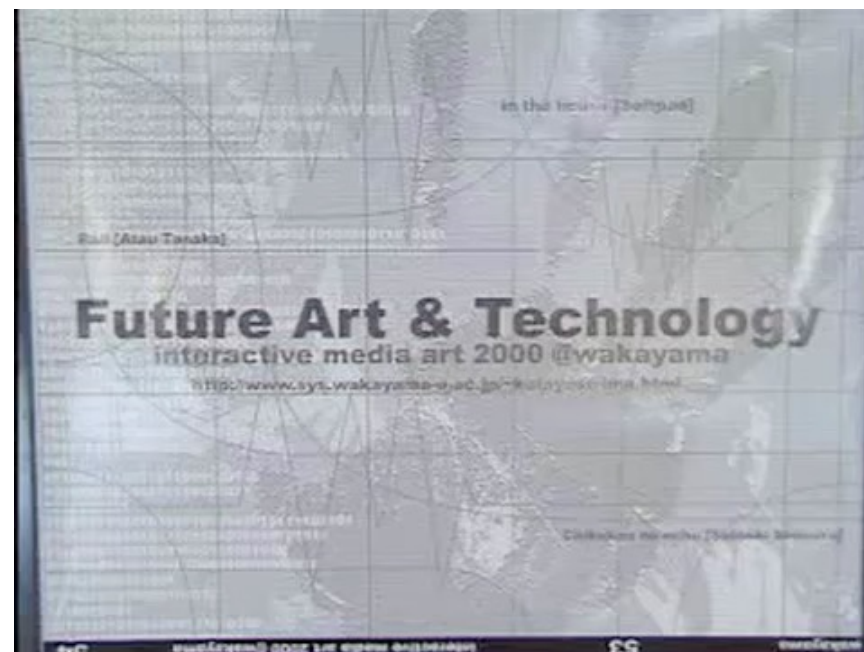
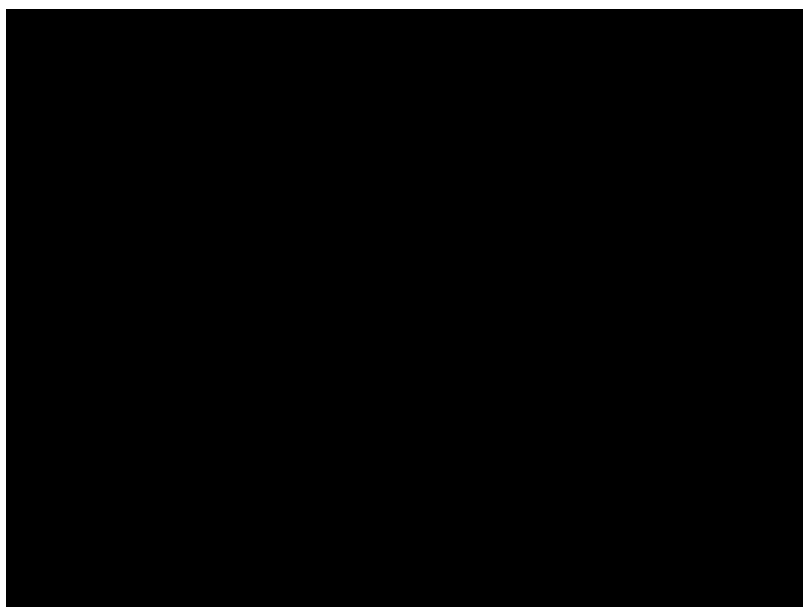
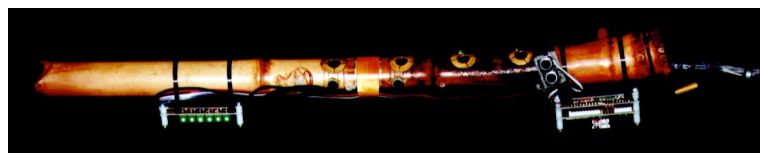


全体図

上面図

新世代楽器

サイバー尺八 (金森, 志村, 片寄1993)



新世代楽器

Bossa (Trueman, Cook 1999)

電子楽器音でも一番先に演奏者が出音を聞けるべきだ！

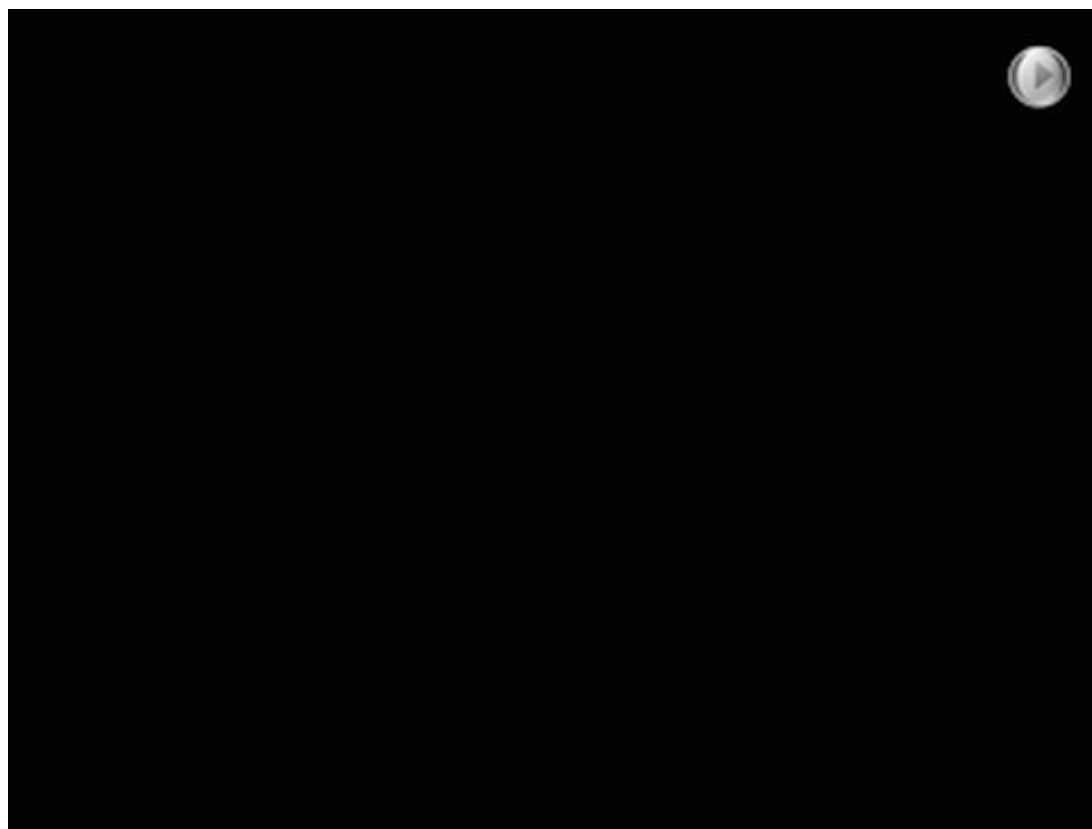
<http://dtrueman.mycpanel.princeton.edu/BoSSA/>



新世代楽器

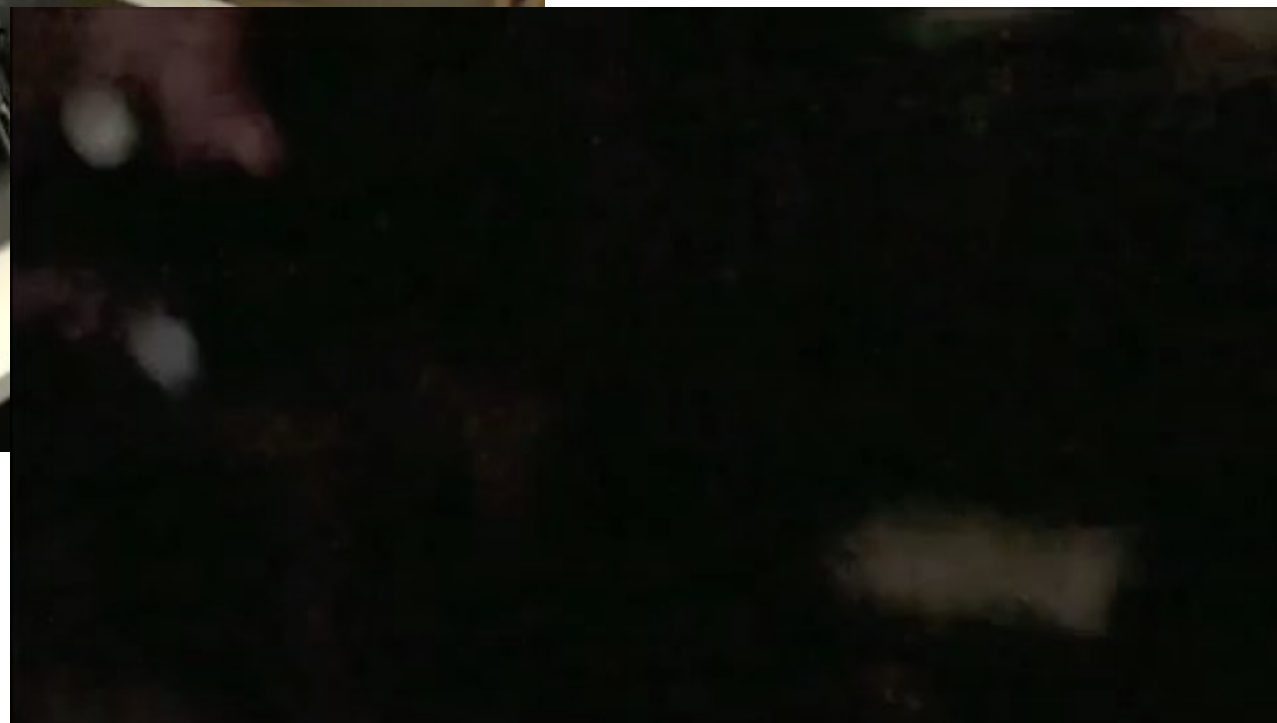
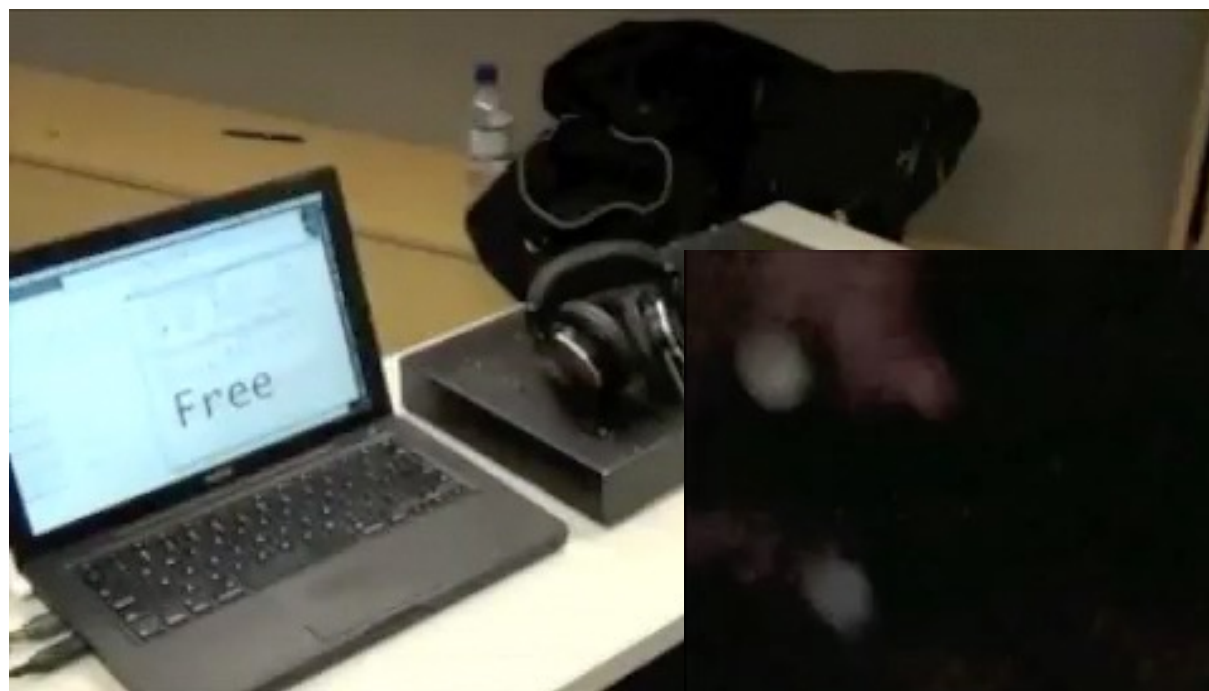
Inspiration (谷井、片寄 2001)

適当に弾いてもシステムが自動修正



新世代楽器

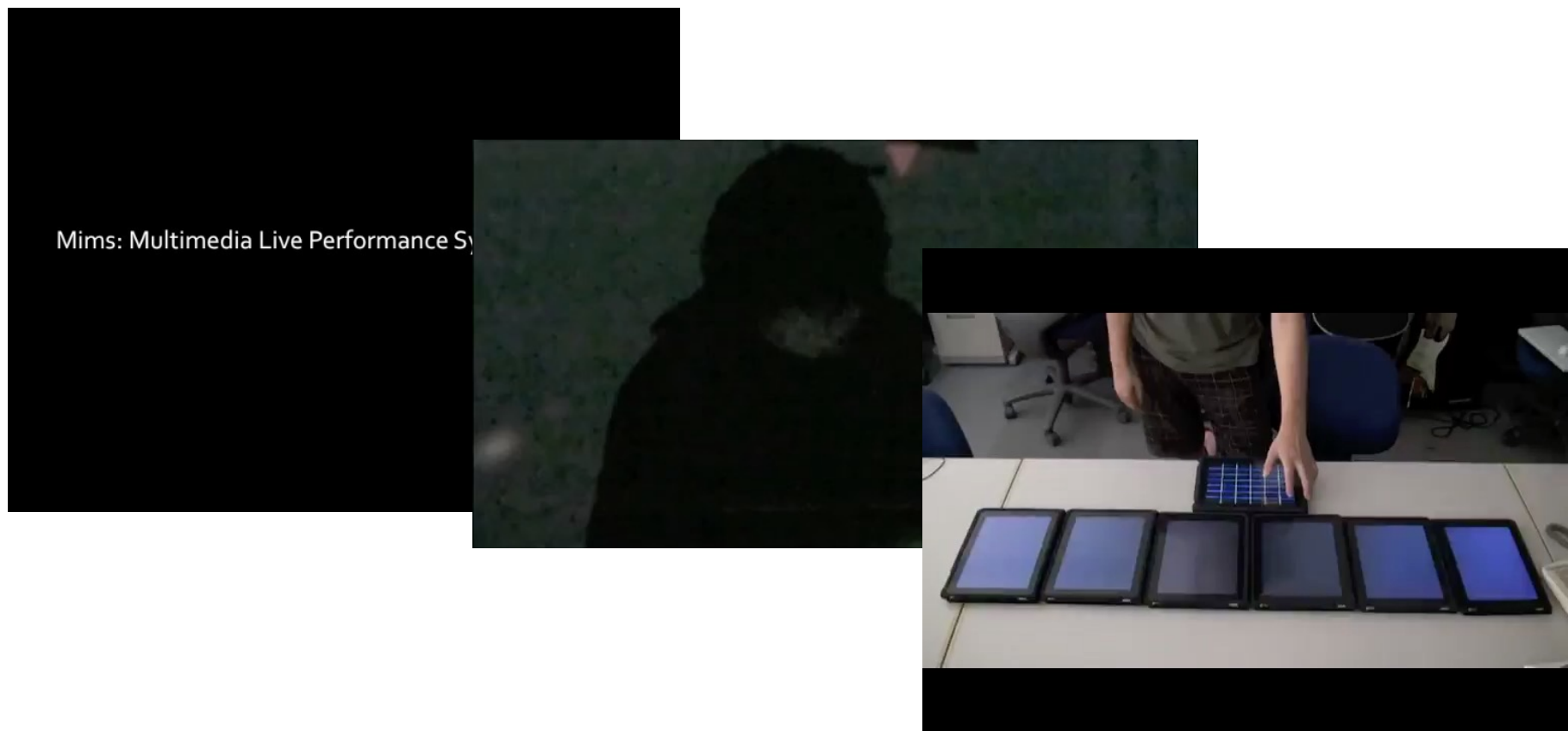
Peacock (深山知香士 2010)



新世代楽器

Kezzardrix (片寄研OB) 2010年前後～)

<http://kezzardrix.net/>

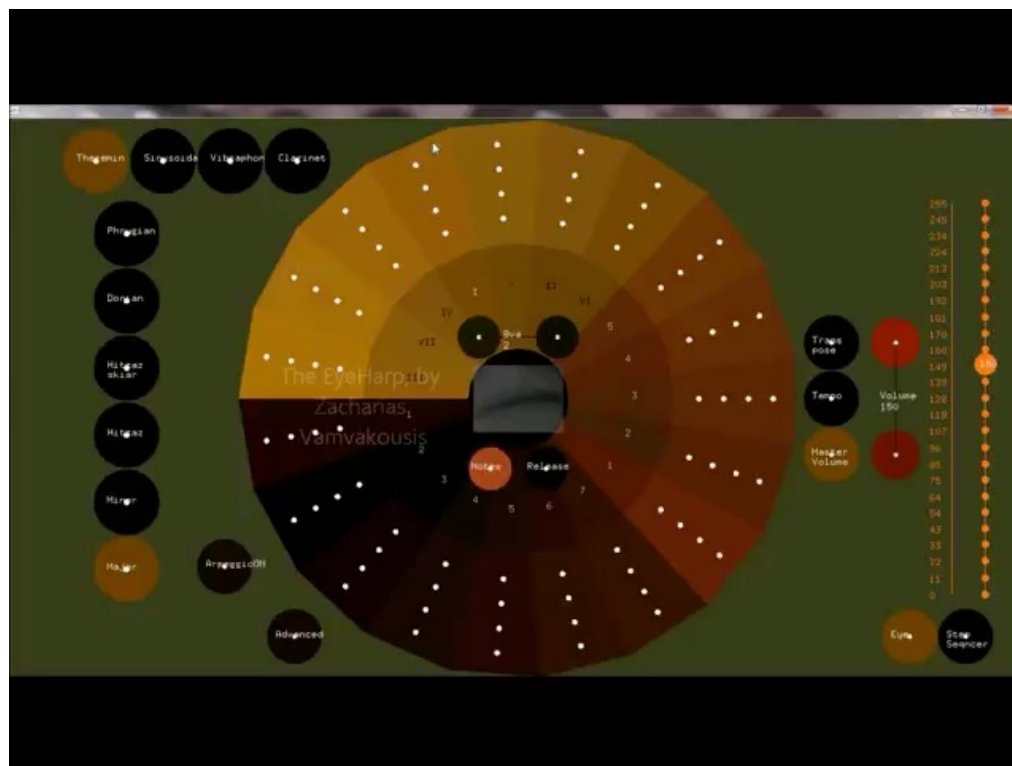


新世代楽器

EyeHarp <http://theeyeharp.org/>

視線だけで音楽を作り上げる

Ars Electronica 2014 を含め数々受賞



新世代楽器（課題・研究対象）

- ジェスチャセンシング（センサの構成）
- 発音機構
- ジャスチャ・マッピング

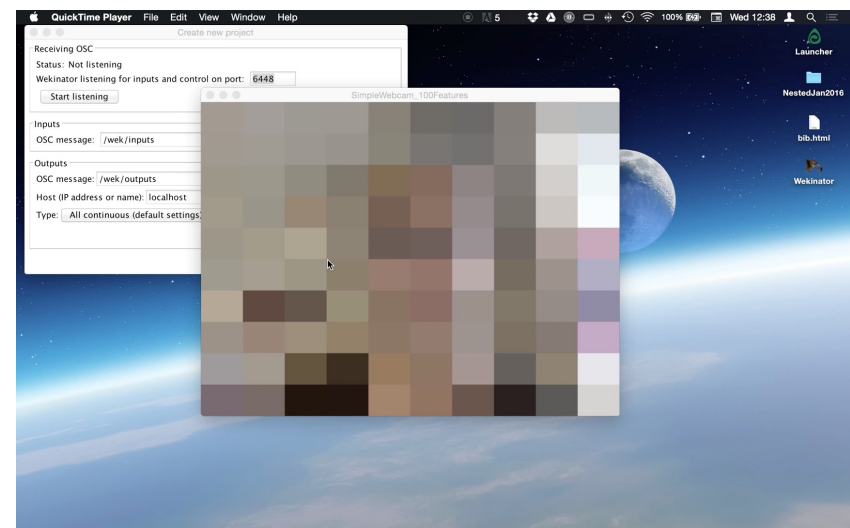
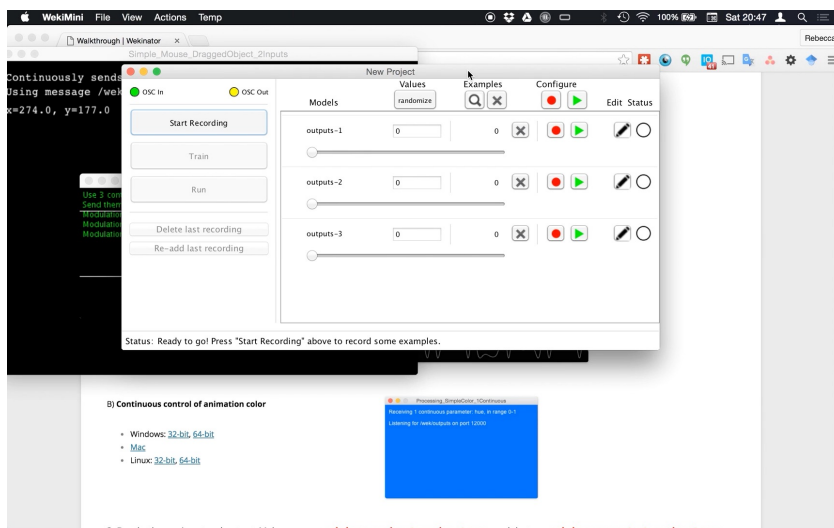
そしてこちらにも機械学習の時代へ

- [wekinator](#) (Fiebrink 2009～)

新世代楽器（機械学習系）

[wekinator](#) (Fiebrink 2009~)

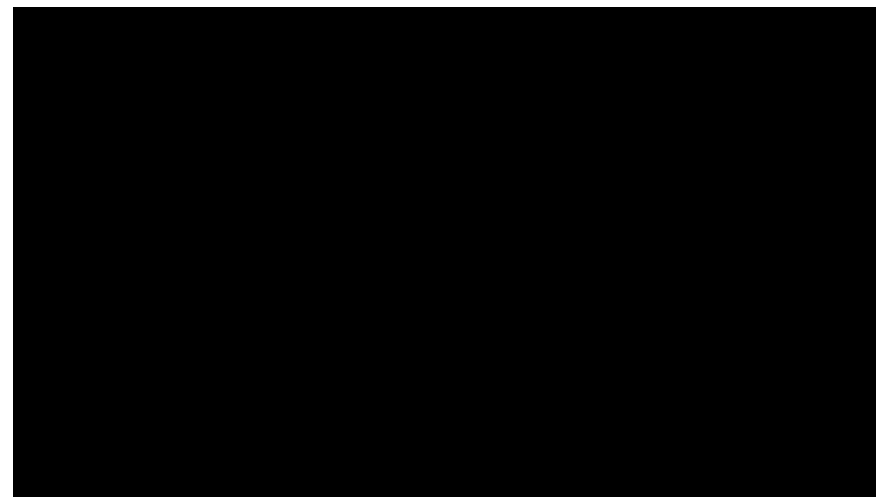
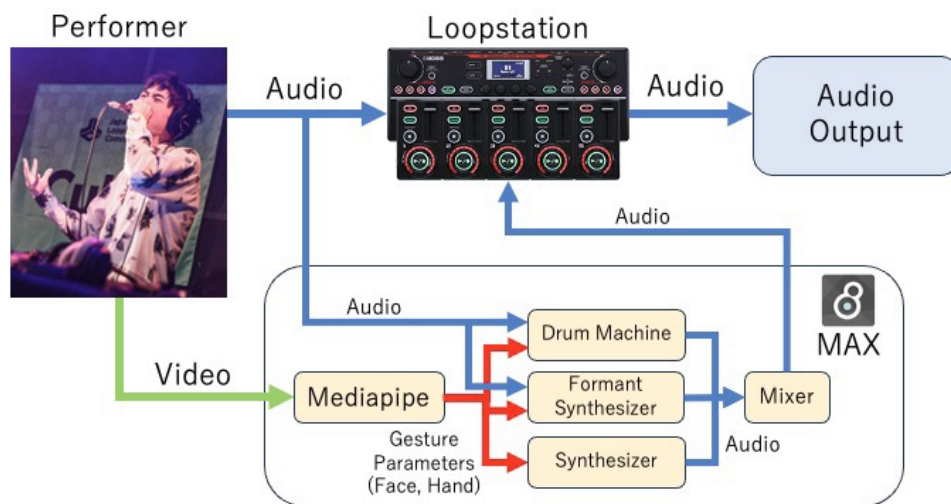
<http://www.wekinator.org/>



新世代楽器（機械学習系）

(大谷 片寄 2023~)

GB-ABBX (Gesture-Based Augmented Beatbox) system



新世代楽器（番外編）

Lemur (League Of Electronic Musical Urban Robots
リーマ/キツネザル?)

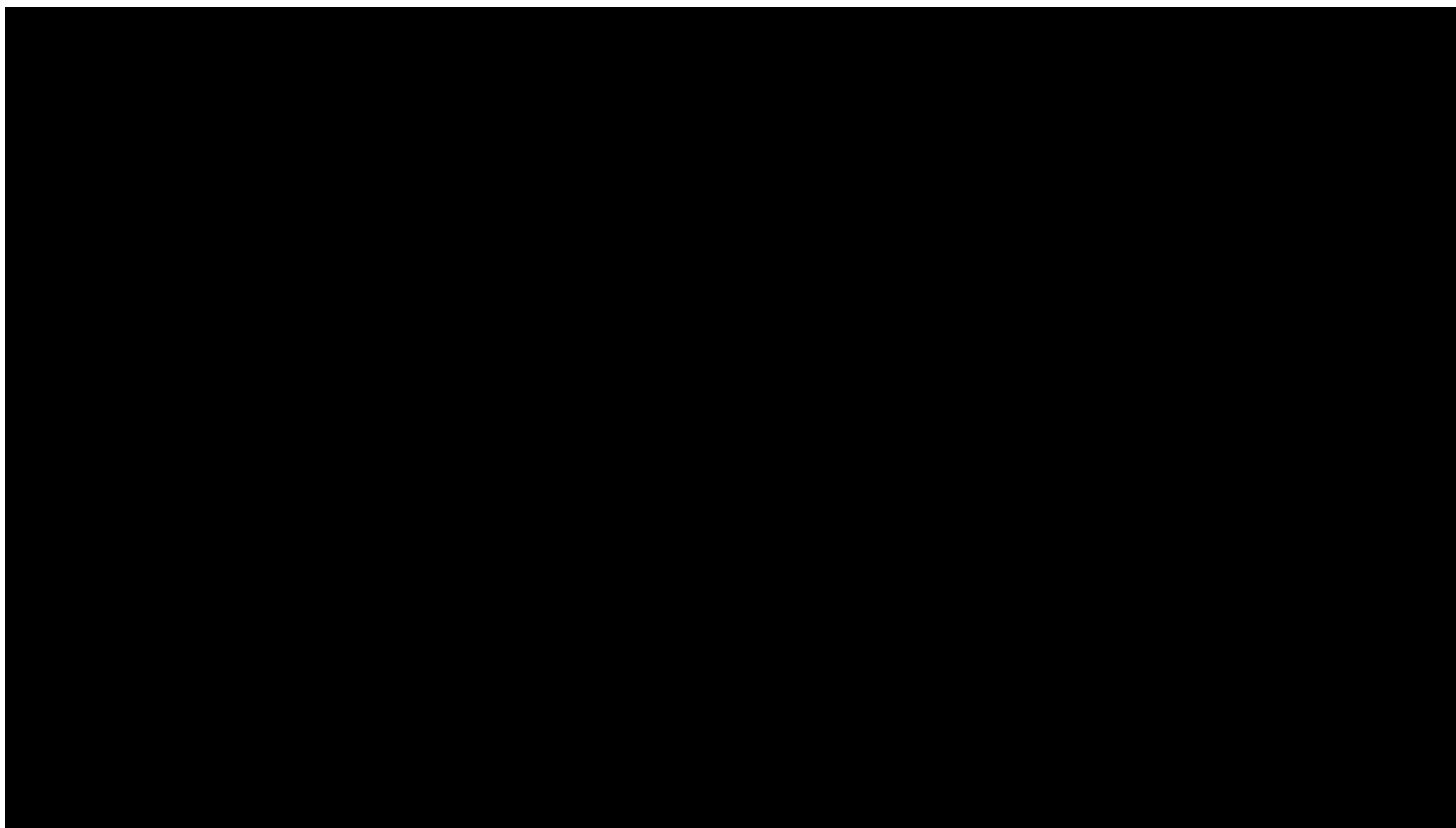
Leaded by E.Singer 2010年頃)



新世代楽器（番外編）

MikuType（2013 by 竹本君（片寄研OB））
バ美声7年前対応技術？

<https://www.nicovideo.jp/watch/sm21933917> ニコ動技術部殿堂入り



新世代楽器（番外編）

Magenta Studio Google TensorFlow系 その2

口笛音をオーケストラ（和声付き）風に変換

<https://twitter.com/yotammann/status/1197264489684623362>



本日のメニュー

- インタラクティブ音楽システムいろいろ
 - 自動伴奏システム
 - 指揮システム
 - セッションシステム
 - 新世代楽器
 - その他
- アルゴリズム例
 - 動的計画法（自動伴奏システムマッチャー）
 - Continuator のアルゴリズム

自動伴奏システムの技術要求

人間の演奏

- テンポ変動
- ミスの混入
- 弾き直し

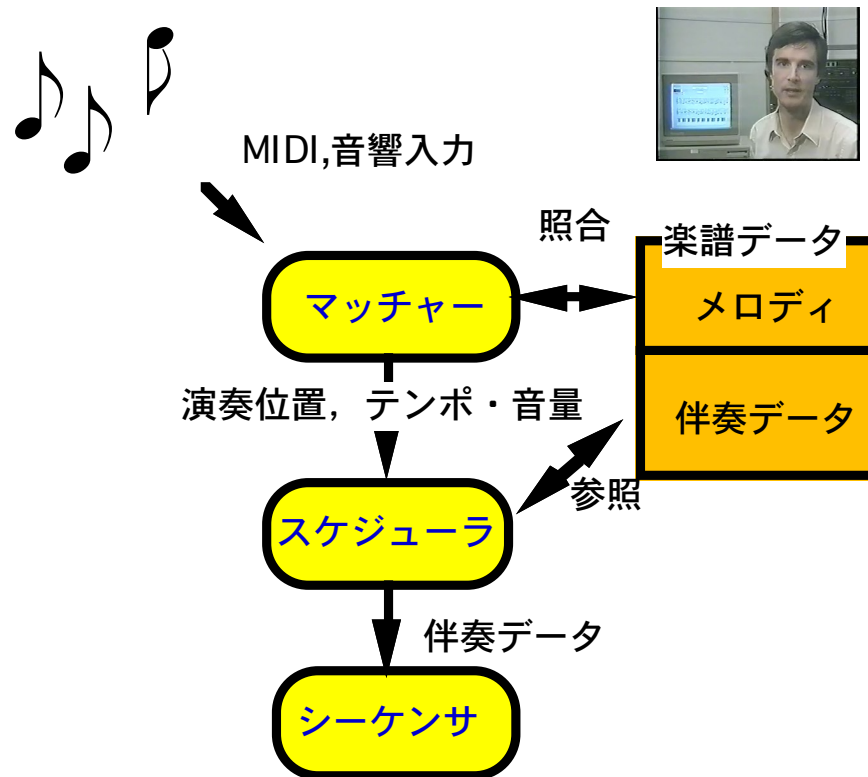
要請：実時間での演奏位置の探索

対象（演奏）の制約

→ 順序はめったに変わらない

マッチャー（動的時間伸縮法(DTW)) の構成

- 効率的な経路探索（costの最小化/類似度の最大化手法）
 - 動的計画法の利用
- 頑健性・一般化 → HMMの利用（第12回）



動的計画法によるDTW

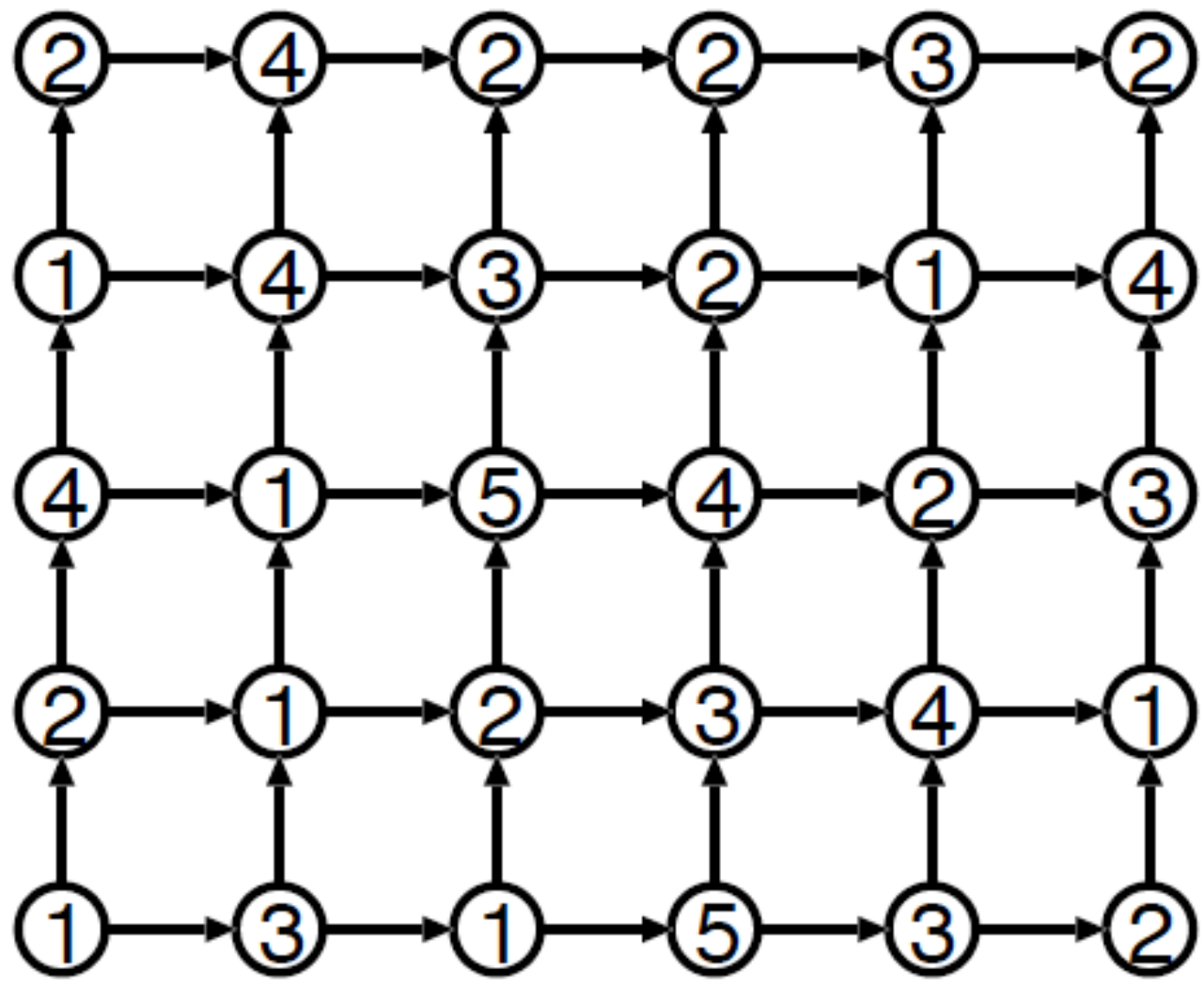
Dynamic Time Warping

(DP: Dynamic Programmingによる構成)

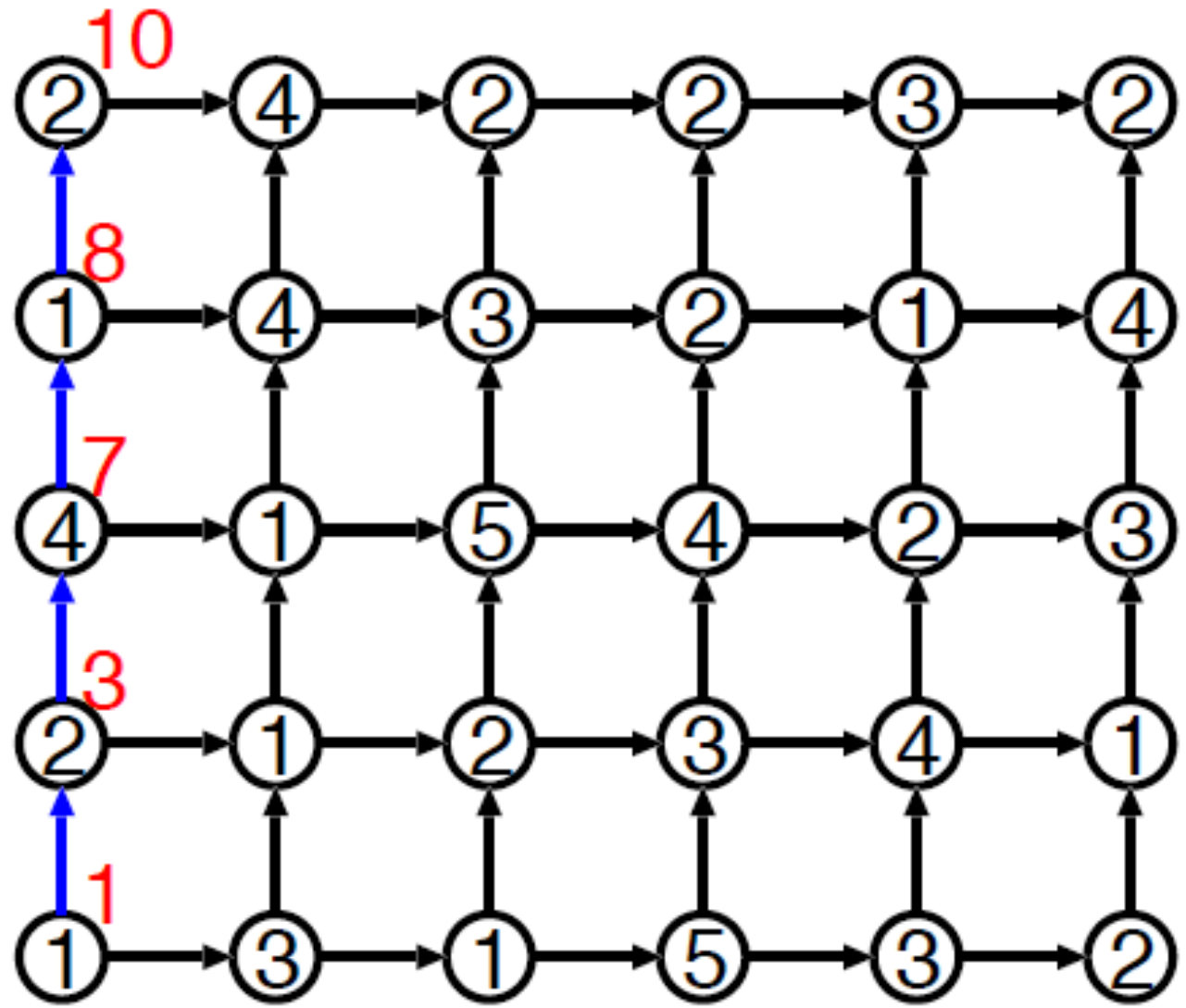
前後関係が入れ替わらないという制約があるデータ列に対して、効率的にマッチングを行うアルゴリズム

- 最適化問題が部分問題に分解できる。 →
効率よく最適経路探索問題が解ける
- 距離尺度により、標準パターンと入力パターンの間を非線形対応づけ
探索にDP(動的計画法)アルゴリズムを用いる
- 傾斜制限:
「音声入力各フレームは、標準パターンのどれかのフレームに必ず対応付ける。同一フレームには2フレームまでは対応付けて良い。」
- 窓制限:
「マッチング経路は、対角線から一定幅以内になくってはならない。」

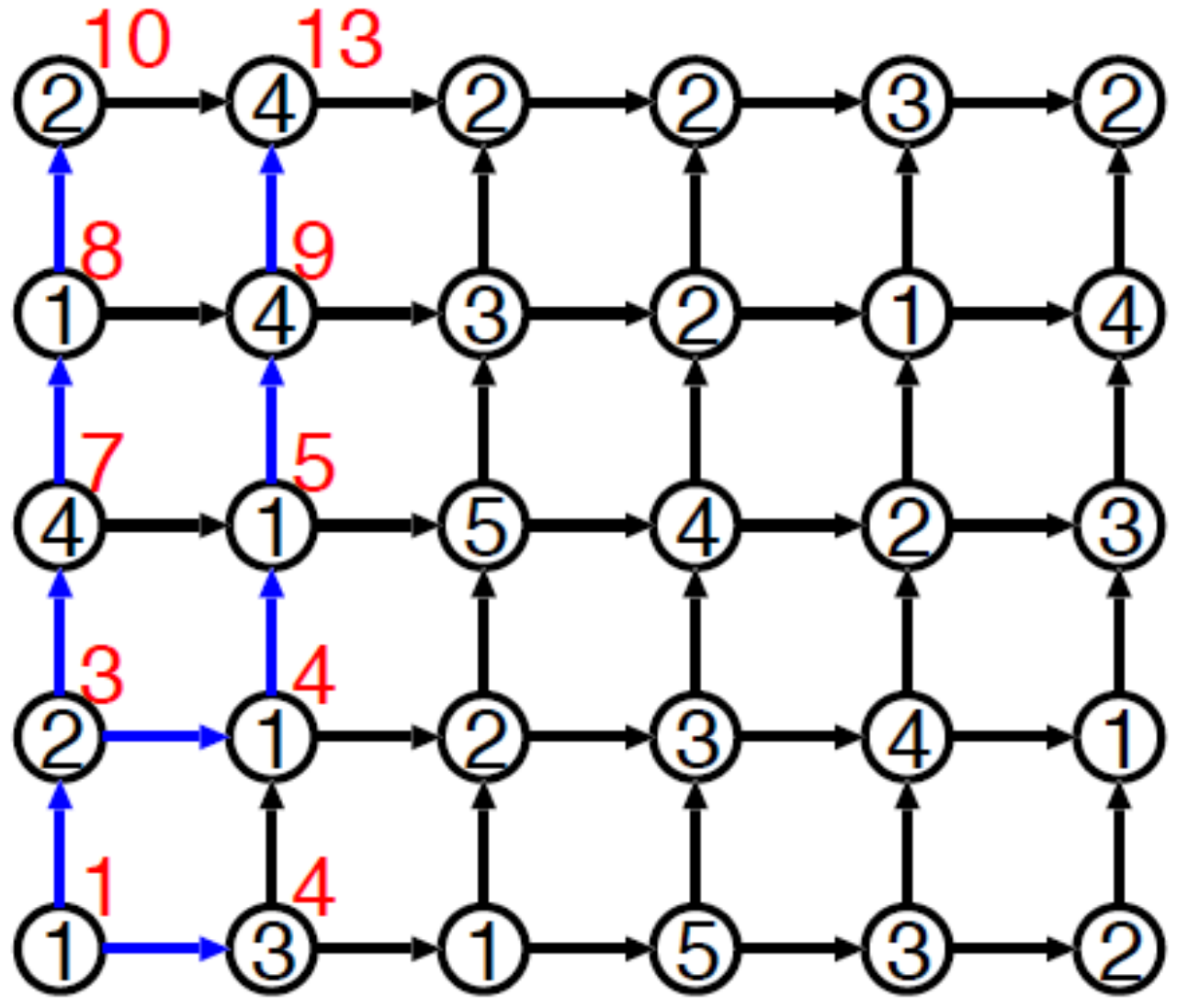
動的計画法 (例：宿泊コスト最小化問題)



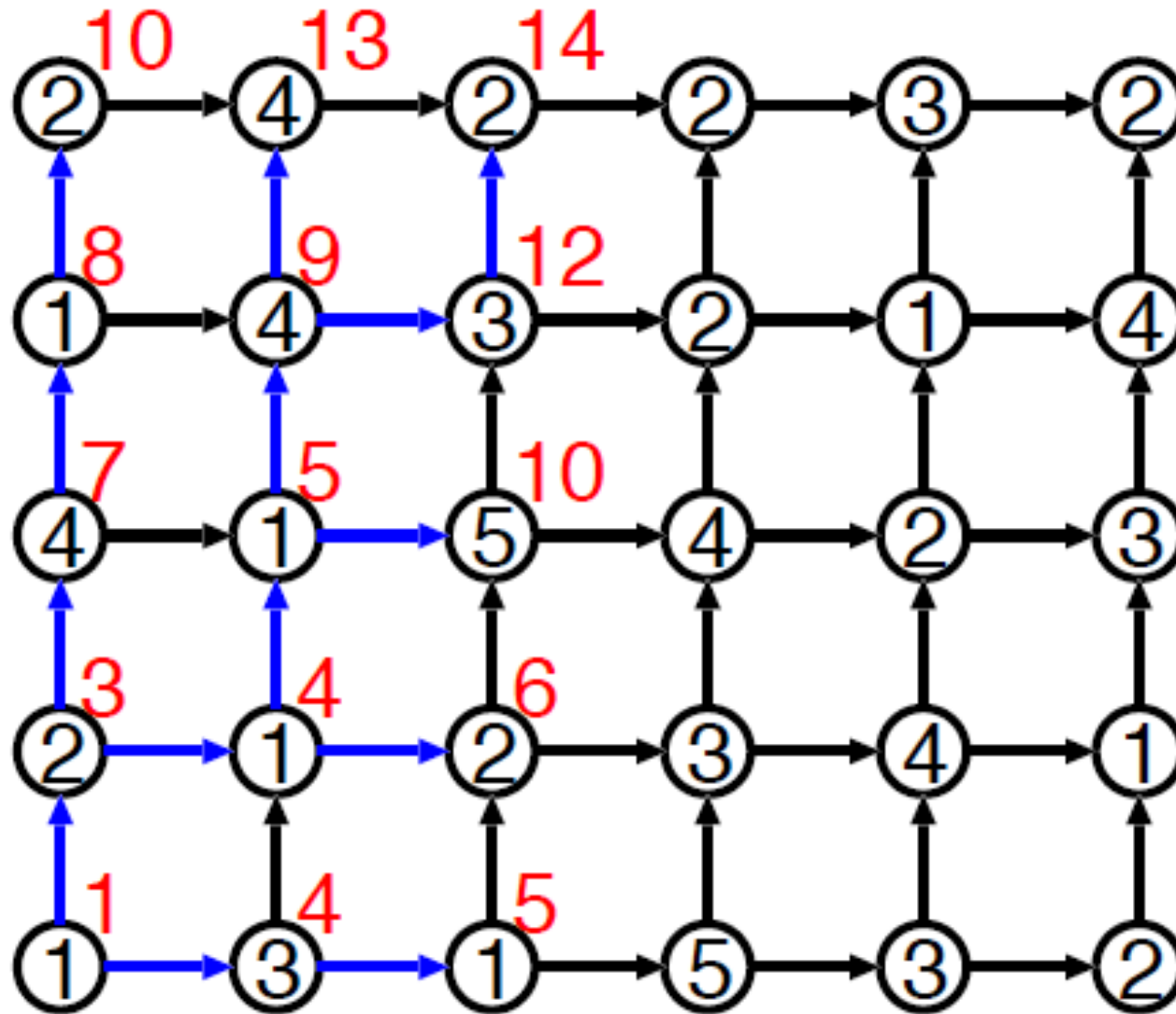
動的計画法 (例：宿泊コスト最小化問題)



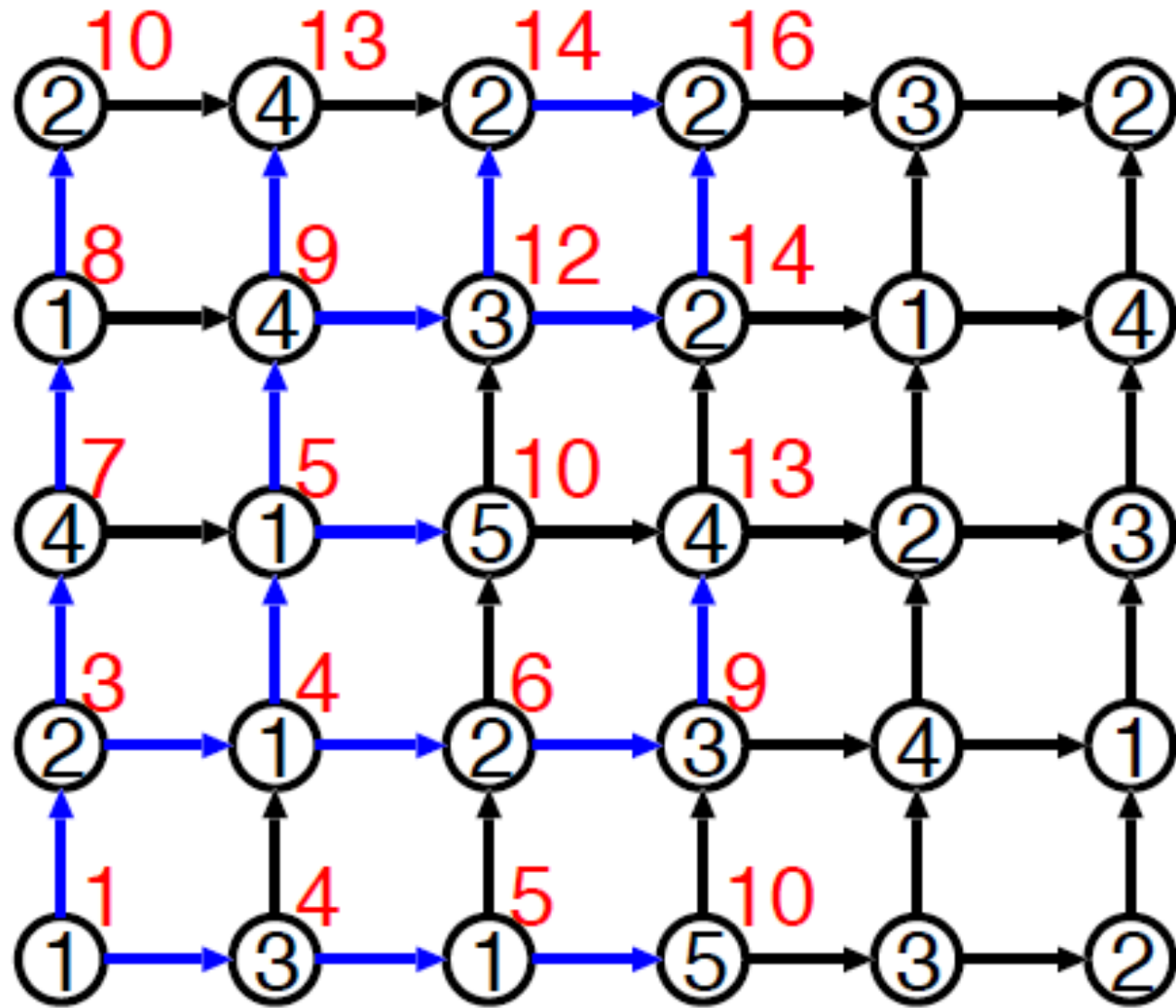
動的計画法 (例：宿泊コスト最小化問題)



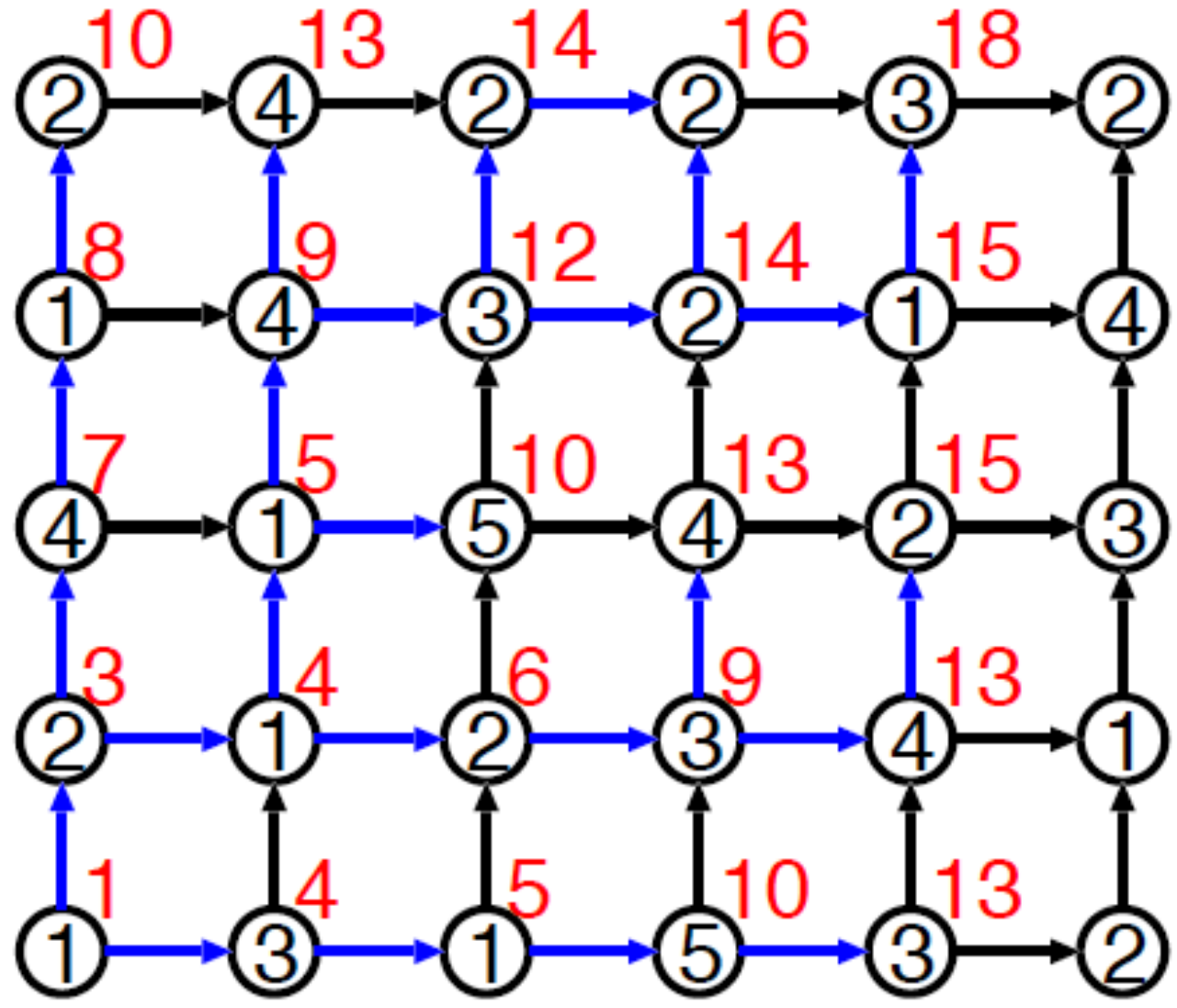
動的計画法 (例：宿泊コスト最小化問題)



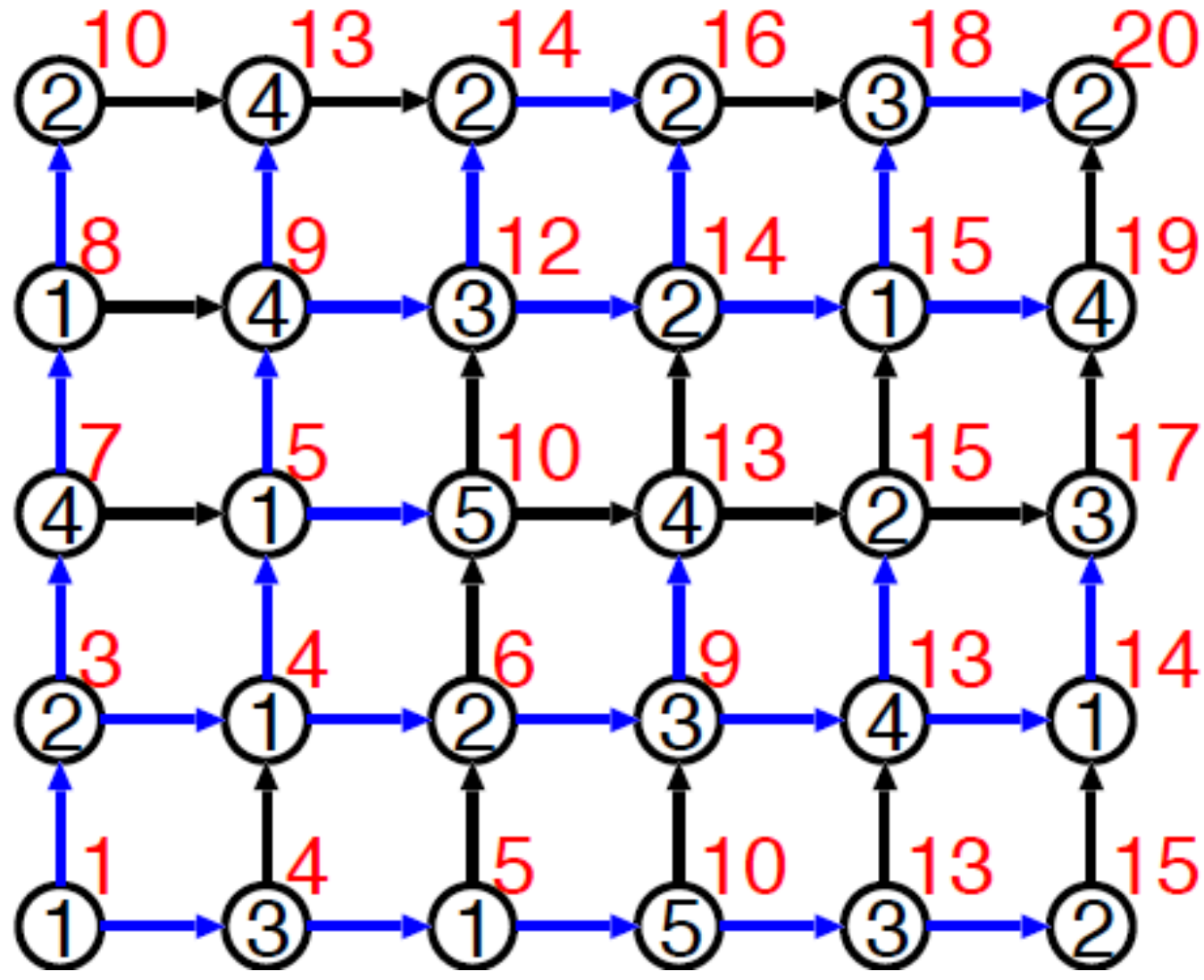
動的計画法 (例：宿泊コスト最小化問題)



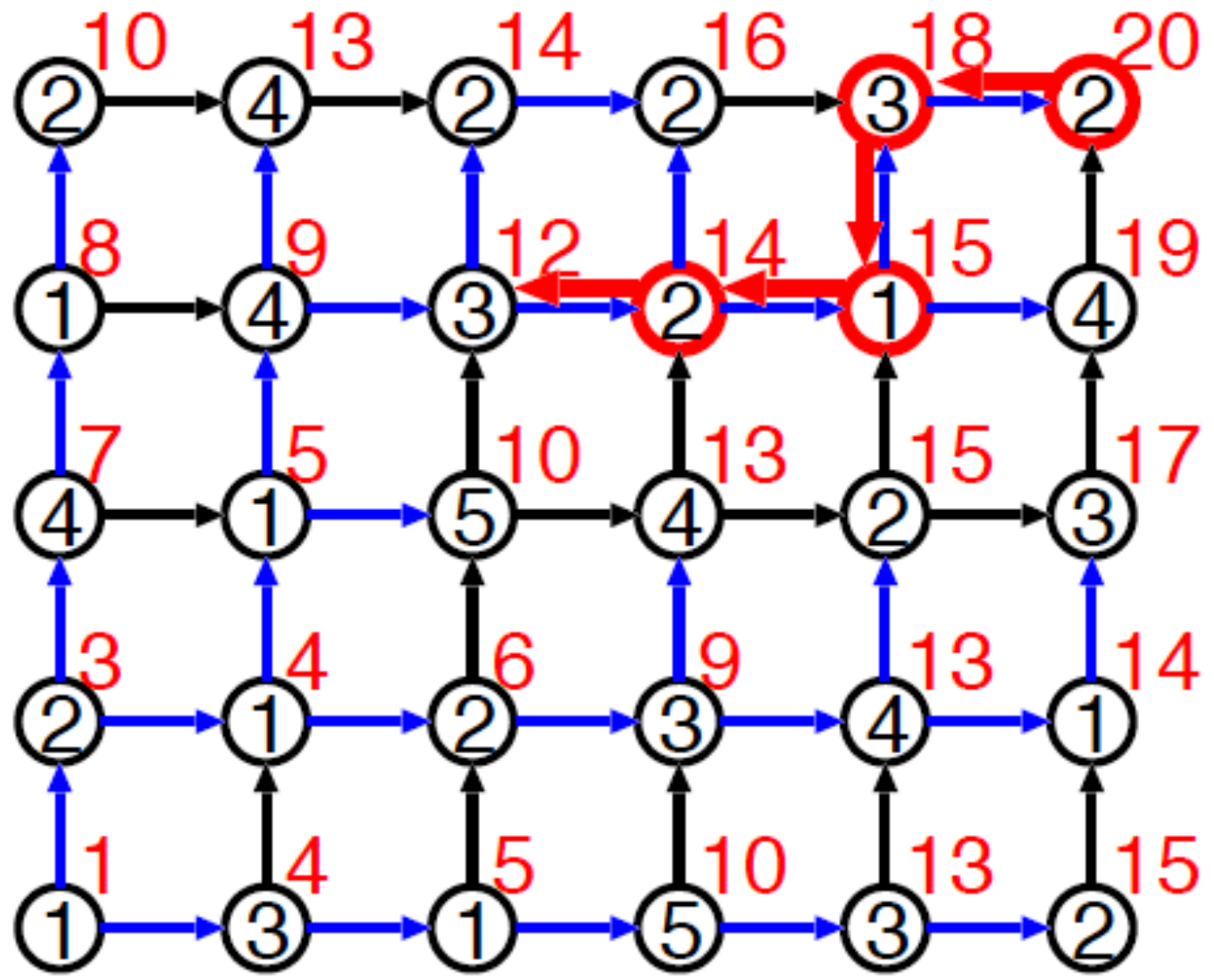
動的計画法 (例：宿泊コスト最小化問題)



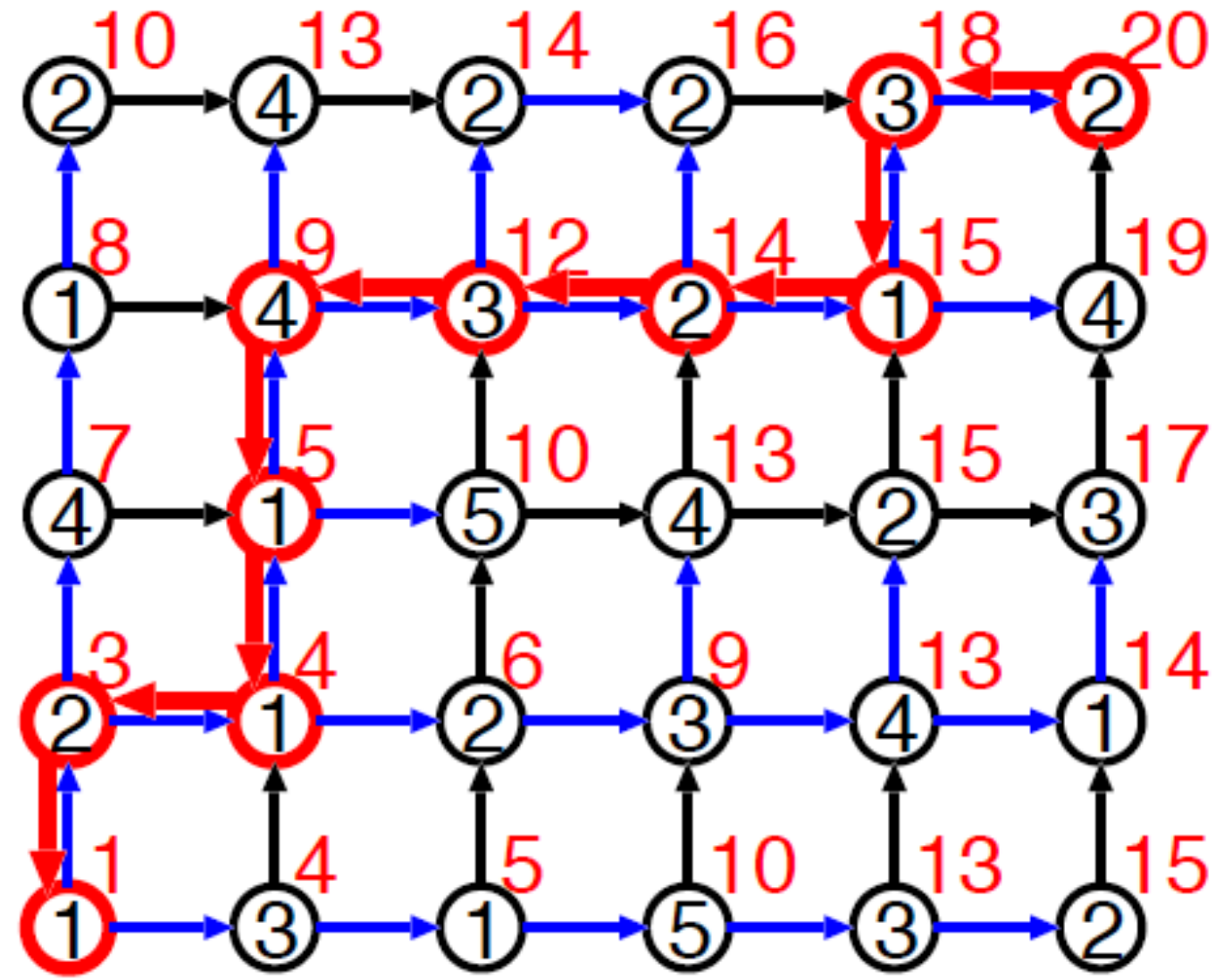
動的計画法 (例：宿泊コスト最小化問題)



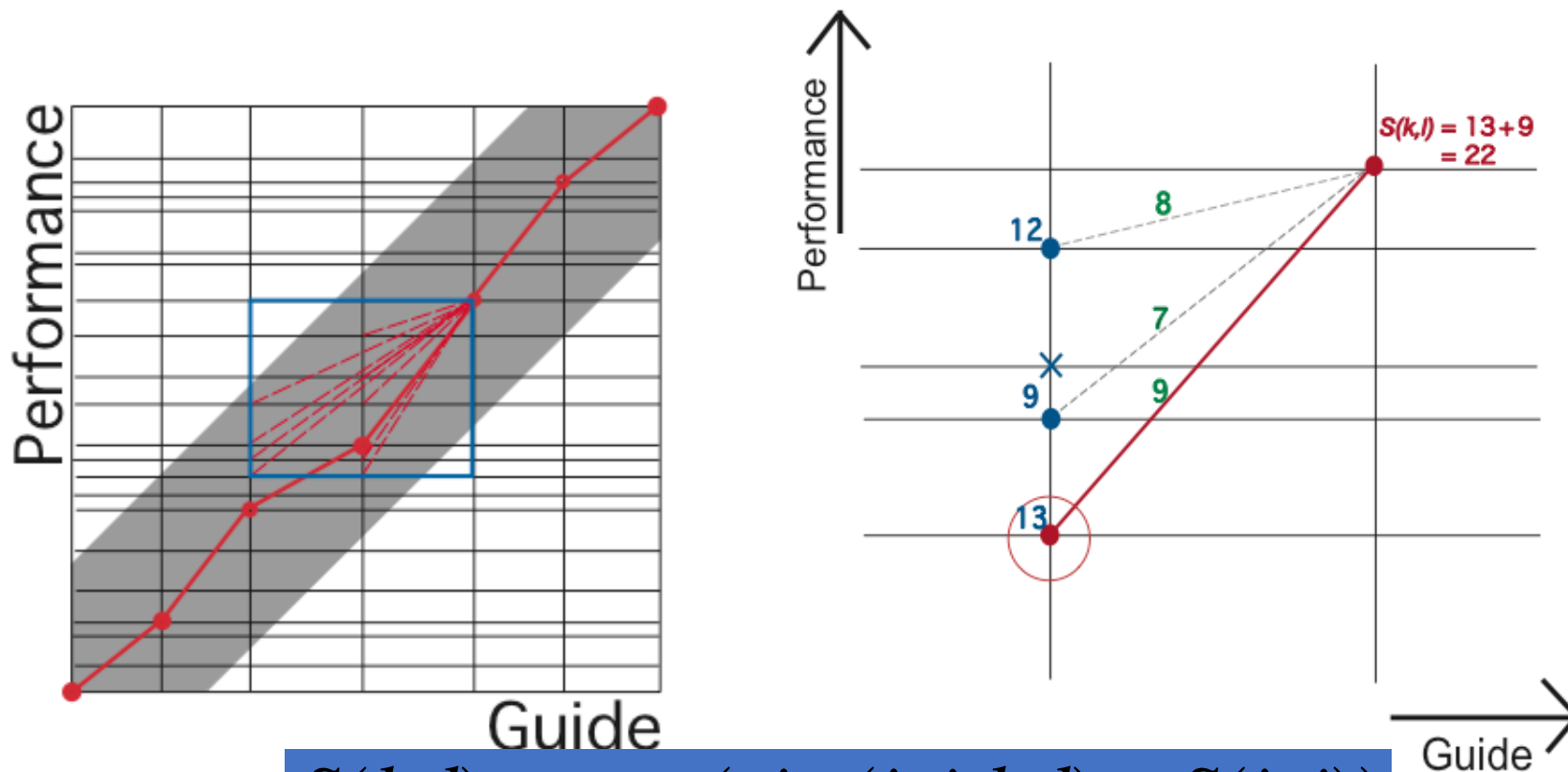
動的計画法 (例：宿泊コスト最小化問題)



動的計画法 (例：宿泊コスト最小化問題)



動的計画法によるDTWの構成



$$S(k,l) = \max(sim(i,j,k,l) + S(i,j))$$

(先ページの例とは違って) この例では、類似度最大化
 累積尤度 $S(k,l)$ を最大化するような親ノードを各点について求める
 → 演奏情報と楽譜情報の最も尤もらしい対応が得られる

動的計画法によるDTWの構成

楽譜（ガイド）演奏平面を用いて、両者の最もふさわしい対応を求める

＜線の傾きがその瞬時のテンポ＞

→スケジューラに＞

Step.1

ある格子点 $Q(k,l)$ とその親候補点 $P(i,j)$ から、 $Q(k,l)$ における対応の類似度 $S(k,l)$ を以下の式より求める

$$S(k,l) = \max(\text{sim}(i,j,k,l) + S(i,j))$$

ここで $\text{sim}(i,j,k,l)$ は、 (i,j) から (k,l) に至る経路で決まる値である

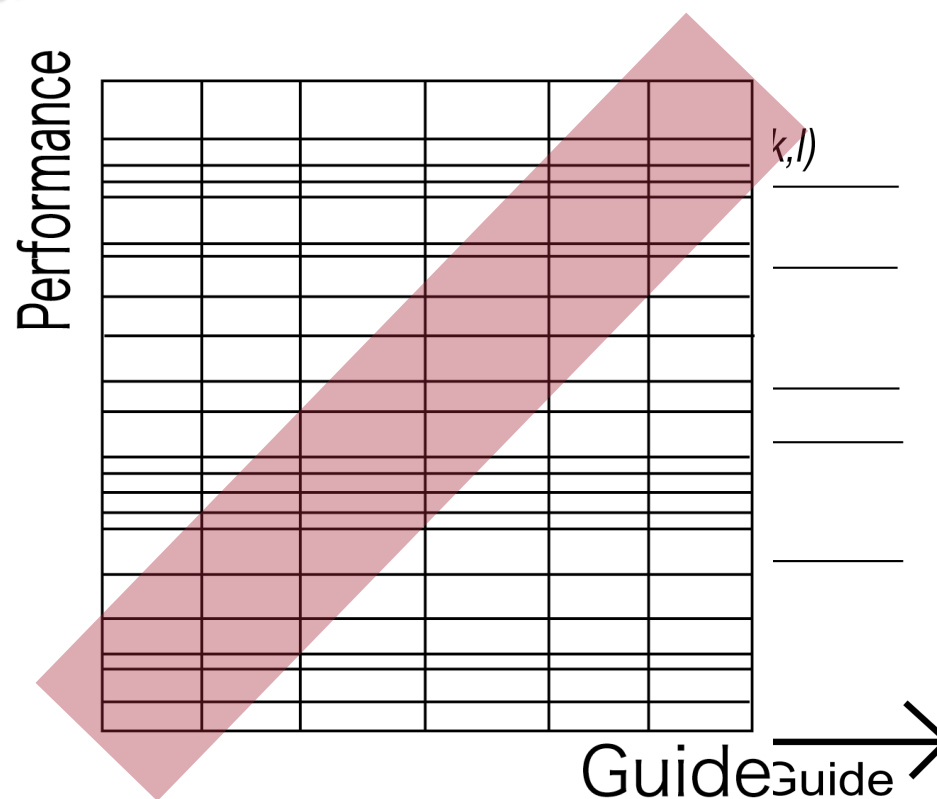
Step.2

$S(k,l)$ を最大にするような親候補 $P(i,j)$ を、 $Q(k,l)$ の親とする

Step.3

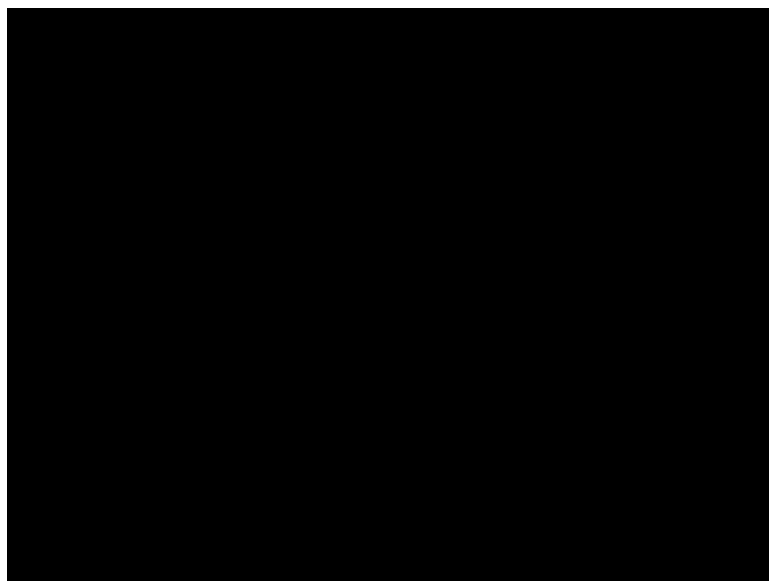
音符飛ばしや引き直しは不連続点（ジャンプ）に相当

＜（通常）テンポはリセットした上でスケジューラに＞

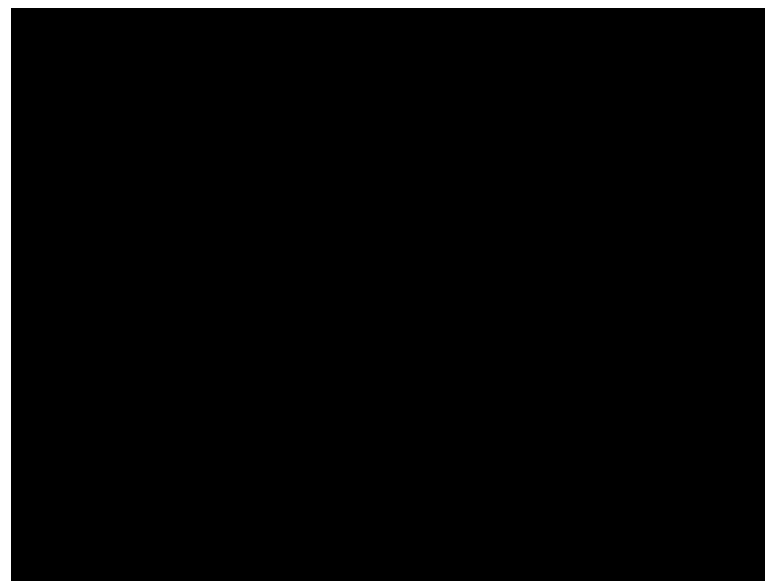


Continuator F. Pachet 2002

- ◆ プレイヤの与えたフレーズに対し後続フレーズを生成
- ◆ マルコフ連鎖により演奏パターンをモデル化
- ◆ コーパス上の音の推移確率と、直前のプレイヤ演奏の特徴（傾向）
に対してのバイアス設定 → ライブ性



Bernard Lubat



子供

Continuator F. Pachet 2002

原理：（木構造）マルコフ遷移モデルを利用

コーパス中に {A B C D} と {A B B C}

ユーザ入力：A B B C D



Continuator F. Pachet 2002

SPARSENESS 問題への対応

マッチング (探索)

1. $\text{pitch} * \text{duration} * \text{velocity}$
2. $\text{small pitch region} * \text{velocity}$
3. small pitch regions
4. large region



だんだん,
探索基準を
緩和

Continuator F. Pachet 2002

生成リズムパターン

- ノードを統合せずにそのまま再生
- ノードの順序性を保ち，すべて同じ音価で再生
- 入力フレーズのリズムのコピー
- （量子化処理に基づいた拍節構造の利用？）

Continuator F. Pachet 2002

- ライブ性の実現

$$Prob(x) = S * Markov_Prob(x) + (1-S) * Fitness(x, Context)$$

コーパスでの確率

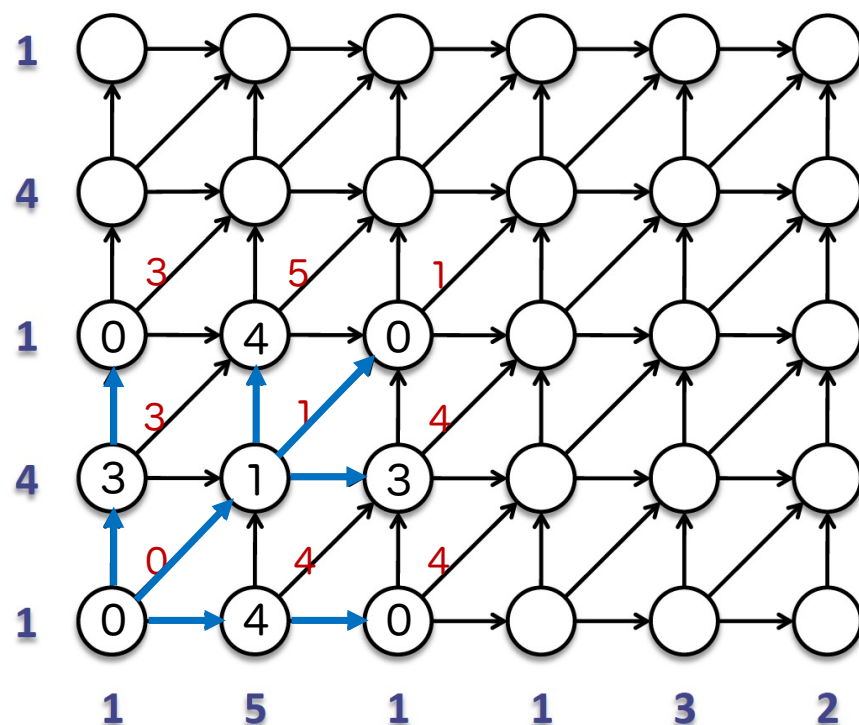
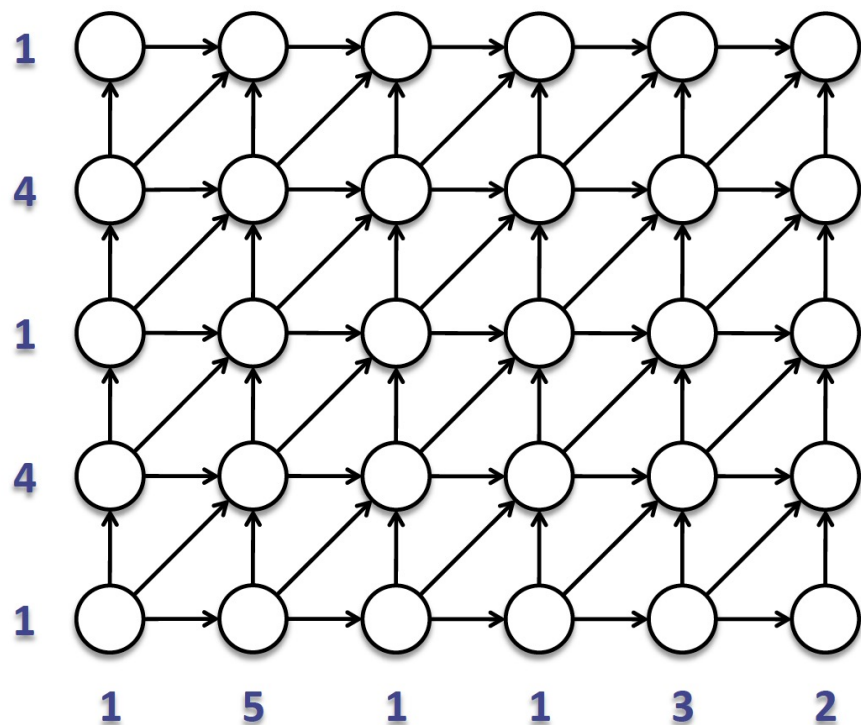
近々のプレイヤー傾向

本日の課題（その1）

事前準備で調べたシステム、もしくは、本日紹介したシステムで、最も印象に残ったものの概要と特徴、キーテクノロジーについて述べ、発展領域や課題（もしあれば）について議論せよ。

本日の課題 (その2)

以下の平面 (斜めルートもOK) で最適パス (終点から距離が短いもの) を再帰的にたどる。ただし、各ノード (丸) における距離はノードの縦軸と横軸に記した値の差の絶対値で与える。



ヒント: まずノード (丸の中) すべてに値を書き込む。その上で、親ノードからの距離を足したものを計算し、小さい方のルート選択していく。