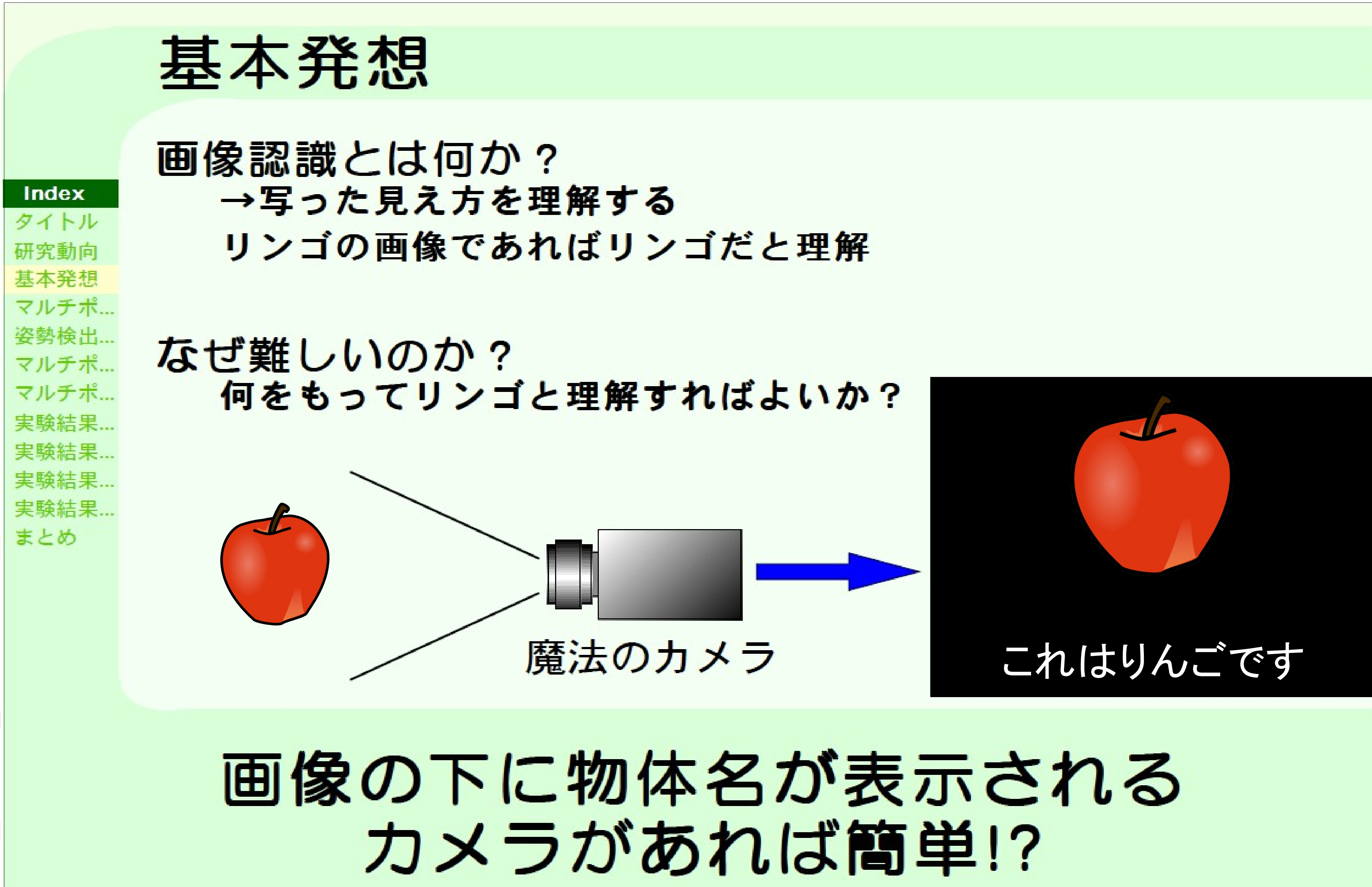
マルチポート固有空間法

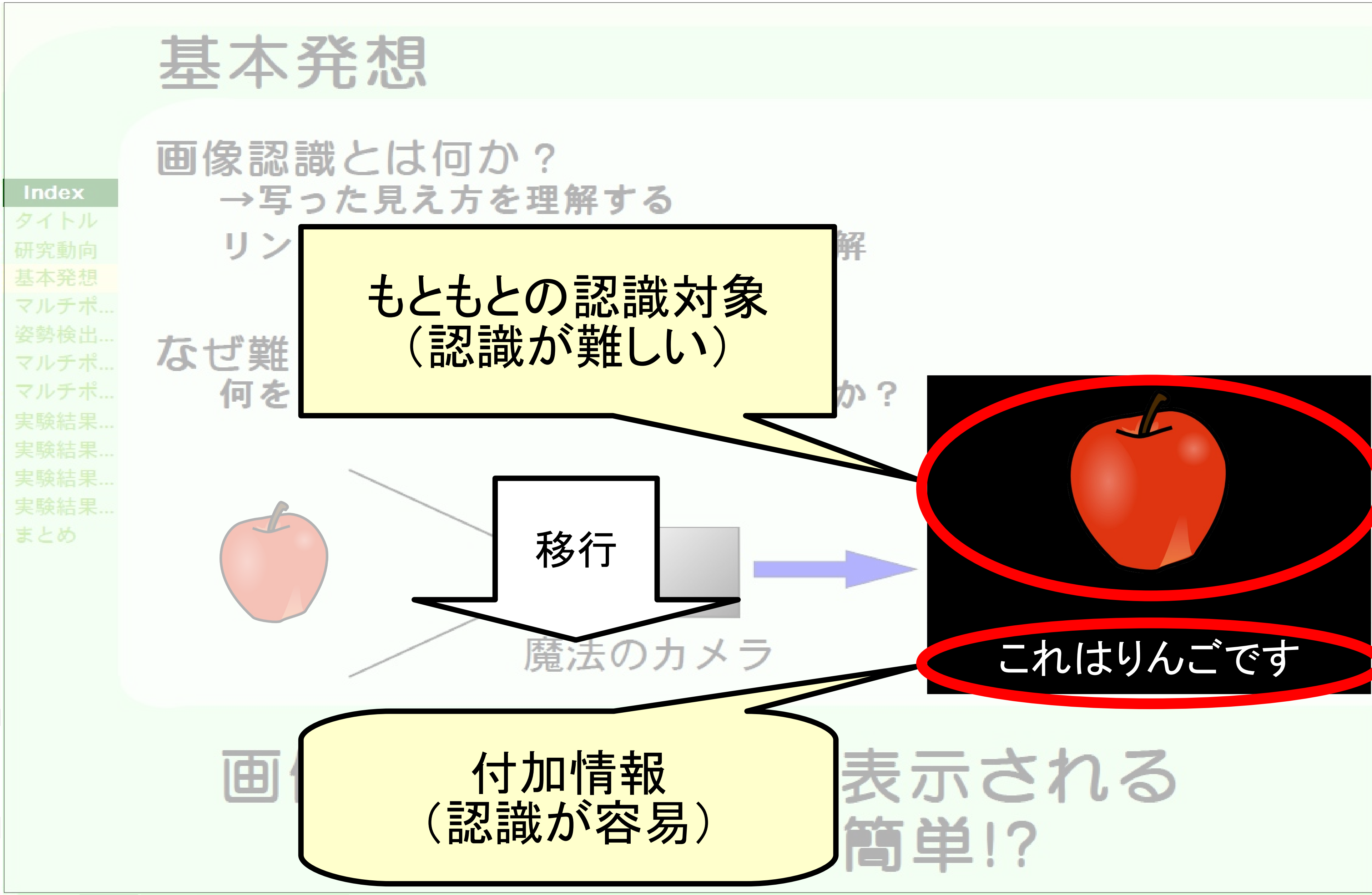
玉木 徹[1]　天野 敏之[2]

[1]広島大学大学院工学研究科情報工学専攻
[2]名古屋工業大学大学院おもひ領域

事の発端(天野,2000)

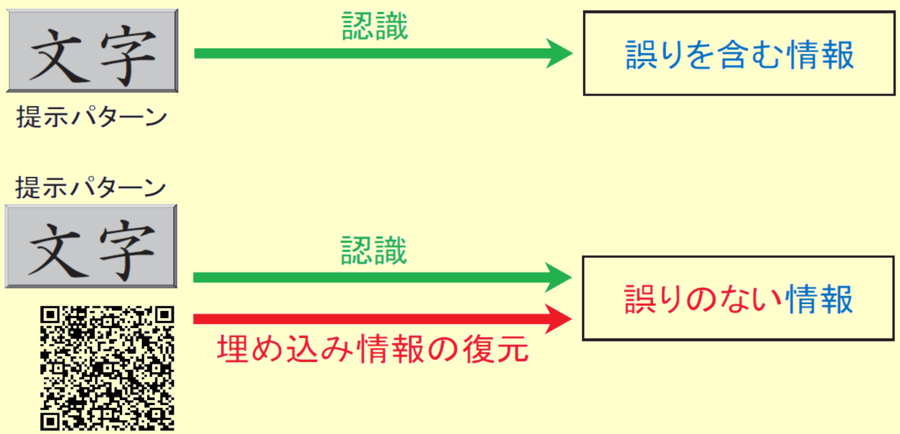

基本発想
Index
タイトル
研究動向
基本発想
マルチポ…
姿勢検出…
マルチポ…
マルチポ…
実験結果…
実験結果…
実験結果…
実験結果…
まとめ
画像認識とは何か？
→写った見え方を理解する
リンゴの画像であればリンゴだと理解
なぜ難しいのか？
何をもってリンゴと理解すればよいか？
魔法のカメラ
これはりんごです
画像の下に物体名が表示される
カメラがあれば簡単!?

事の発端(天野,2000)


基本発想
画像認識とは何か？
→写った見え方を理解する
Index
タイトル
研究動向
基本発想
マルチポ...
姿勢検出...
マルチポ...
マルチポ...
実験結果...
実験結果...
実験結果...
実験結果...
まとめ
もともとの認識対象
（認識が難しい）
移行
魔法のカメラ
これはりんごです
付加情報
（認識が容易）

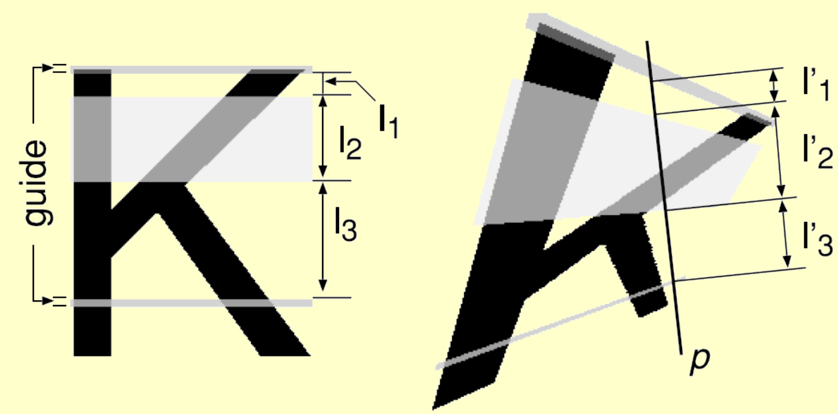
認識対象に情報を埋め込むなら

バーコードの埋め込み（岩村ら,2005）

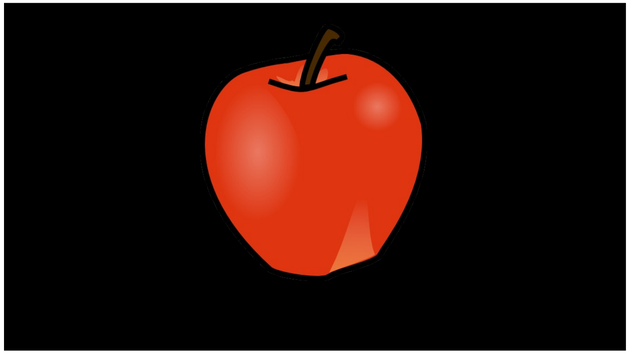


小さなバーコード，または文字に埋め込まれた情報[2]

フォントへの複比埋め込み（内田ら,2005）



- どうやって画像の付加情報を作成するか
  - 手動
  - 自動
  - ~~魔法~~
- どんな情報を付加するのか
  - バーコード
  - 複比
  - ？？？



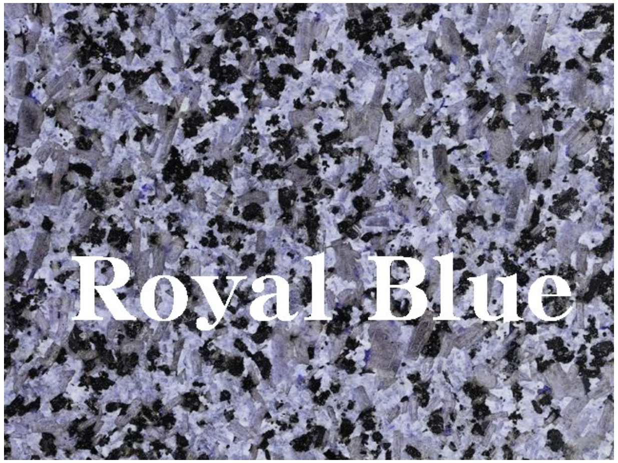
これはりんごです

岩村雅一, 内田誠一, 大町真一郎, 黄瀬浩一, "情報付加による認識率100%の実現 —人にも機械にも理解可能な情報伝達のために—", 画像の認識・理解シンポジウム(MIRU2005), pp.901-908 (2005-7) http://www.m.cs.osakafu-u.ac.jp/publication_data/362.pdf

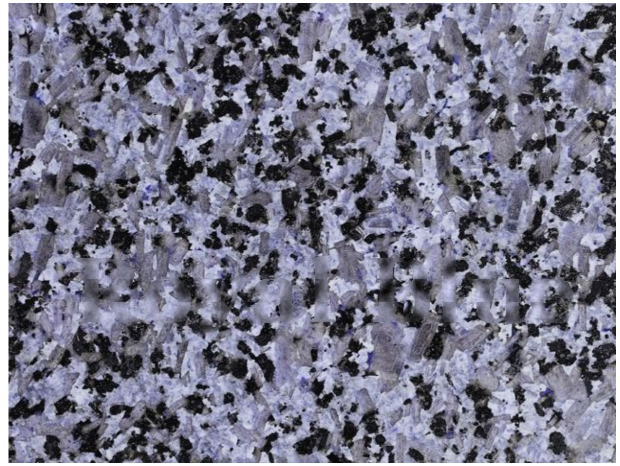
内田 誠一, 岩村 雅一, 大町 真一郎, 黄瀬 浩一, "カメラによる文字認識のためのカテゴリー情報の埋込に関する検討", 電子情報通信学会論文誌D, J89-D, 2, pp.344-352 (2006-2) http://www.m.cs.osakafu-u.ac.jp/publication_data/375.pdf

内田誠一, 岩村雅一, 大町真一郎, 黄瀬浩一, "カメラによる文字認識のための付加情報の埋め込みに関する検討", 画像の認識理解シンポジウム, OS7A-29 (2005) http://human.is.kyushu-u.ac.jp/~uchida/Papers/OS7A-029.pdf

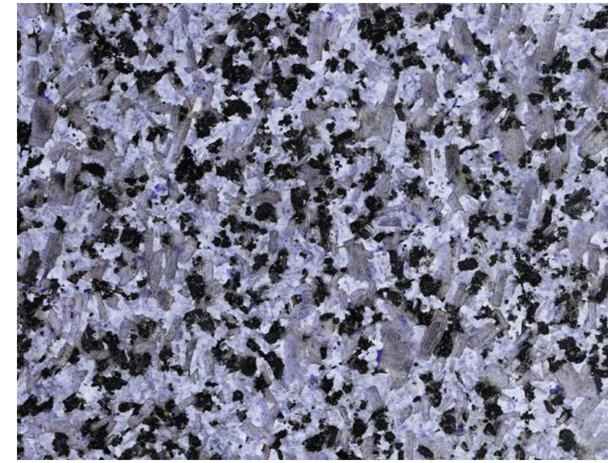
固有空間を用いた画像補間：(k)BPLP



欠損画像



復元画像
（BPLP）



原画像

欠損画像

復元画像
（kBPLP）

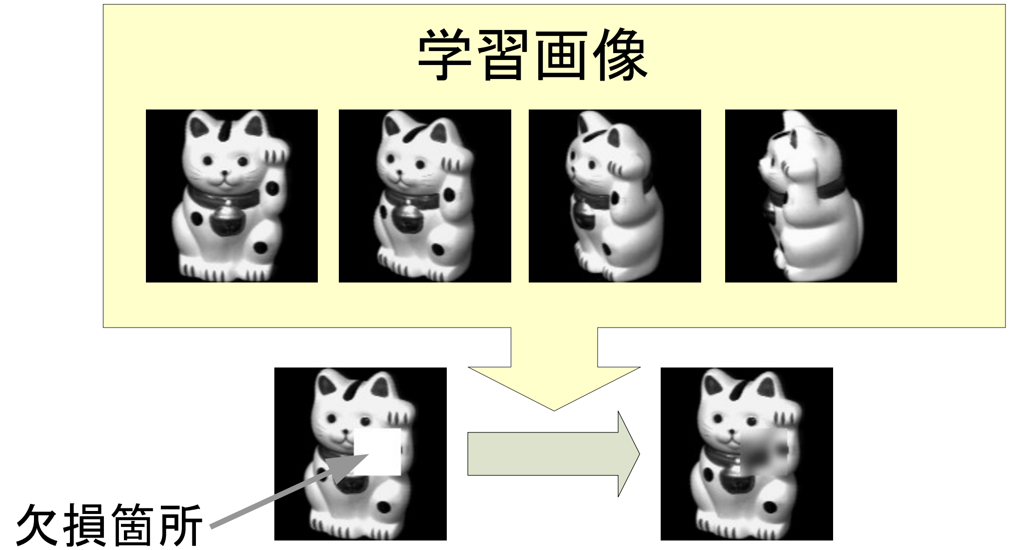
原画像

天野敏之，井口征士：固有空間照合法を用いたBPLPによる画像補間，画像の認識・理解シンポジウム講演論文集1，pp.217-222 (2000)
天野敏之，佐藤幸男：固有空間法を用いたBPLPによる画像補間 ,電子情報通信学会論文誌D-II, Vol.J85-D-II, No.3, pp.457-465 (2002)
天野敏之，佐藤幸男：kBPLP法を用いた高次元非線形射影による画像補間 ,電子情報通信学会論文誌D-II, No.4, pp.525-534 (2003)
http://hilbert.elcom.nitech.ac.jp/%7Eamano/BPLP_Inter/index.html

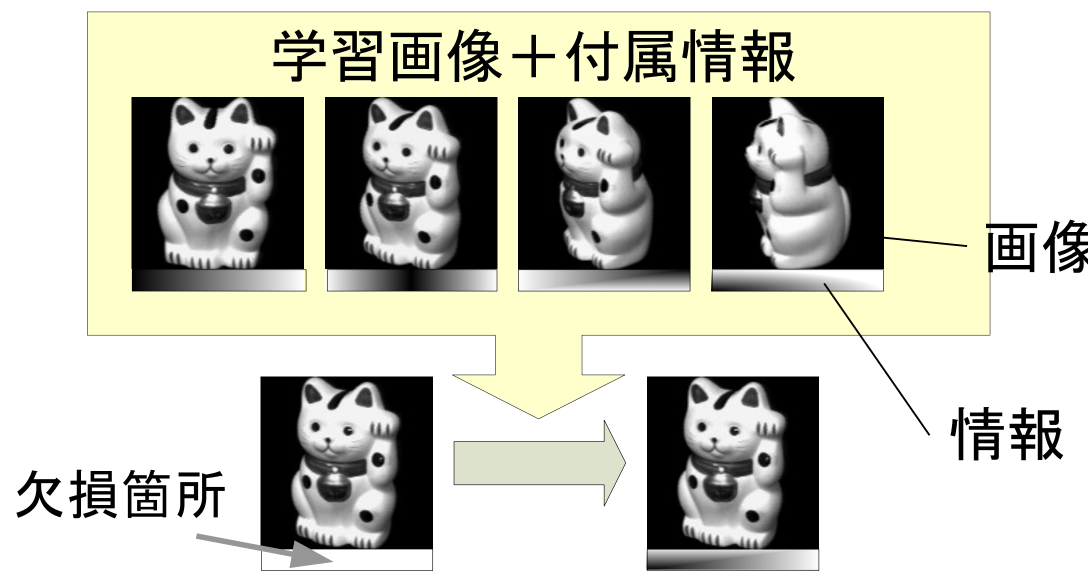
（天野ら,2000,2002,2003）

BPLP⇒マルチポート固有空間法

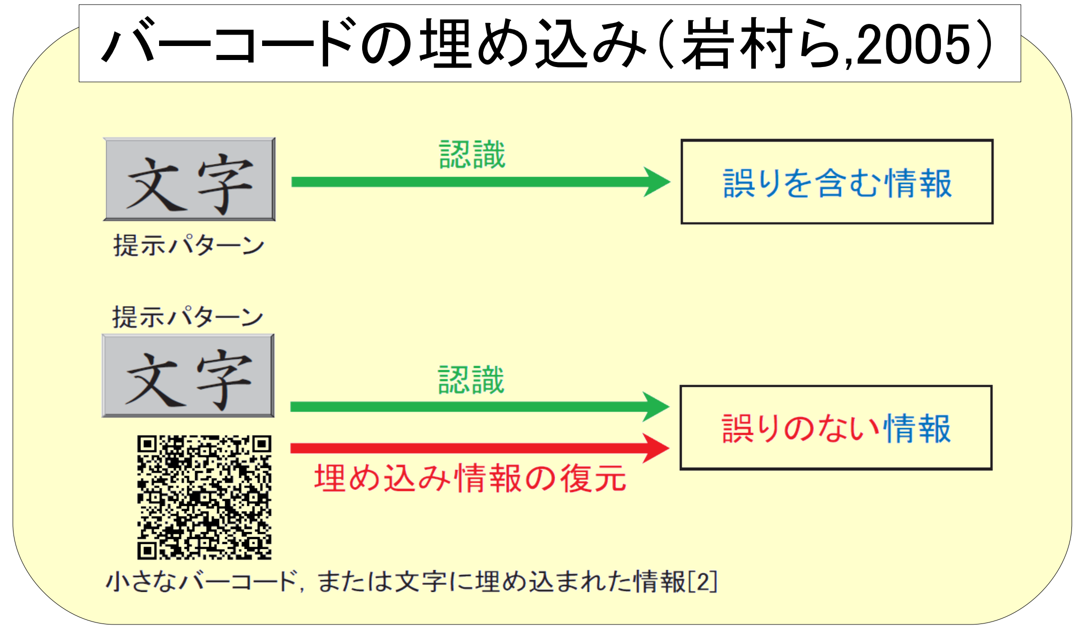
- BPLP
  - 失われた画素を補間する画像修復の問題
  - 学習セット
    - 画像
  - 輝度を推定



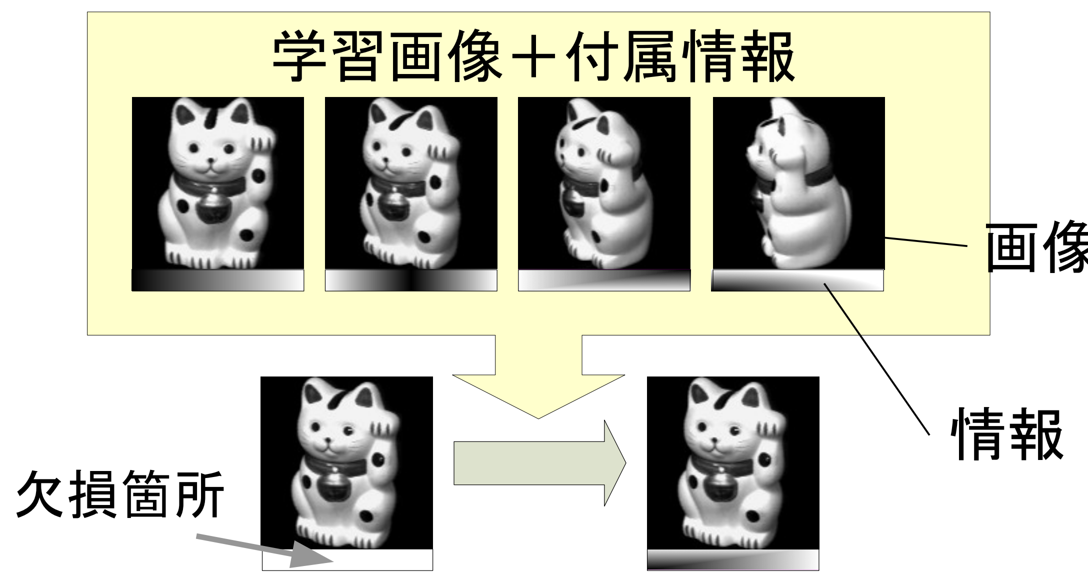
- **マルチポート固有空間法**
  - 情報の推定を画像の補間問題として扱う
  - 学習セット
    - 画像＋情報
  - 情報を推定
  - 推定された情報を認識



関連研究⇔マルチポート固有空間法



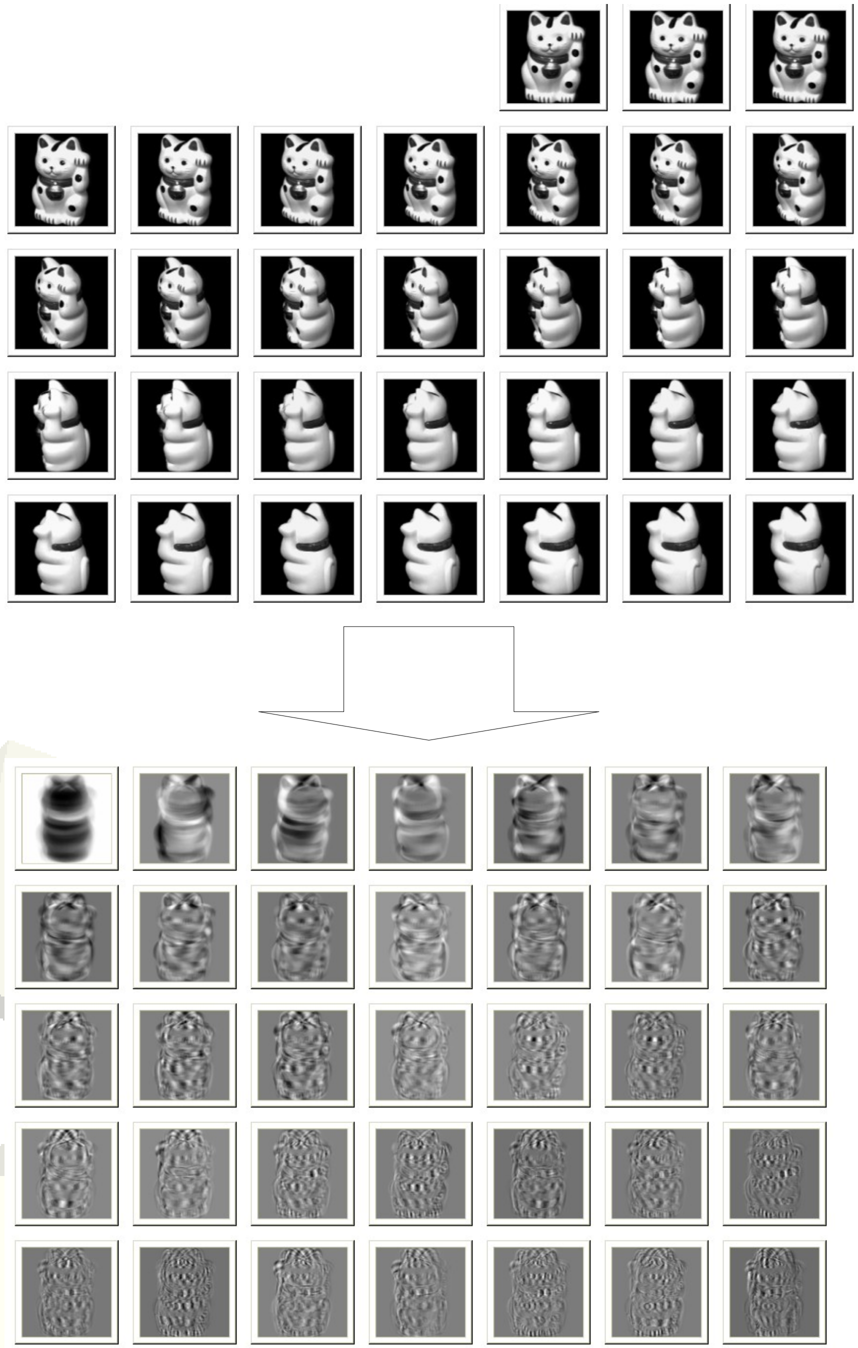
- 関連研究
  - 認識対象への情報の埋め込み
  - 認識する画像に情報が存在する

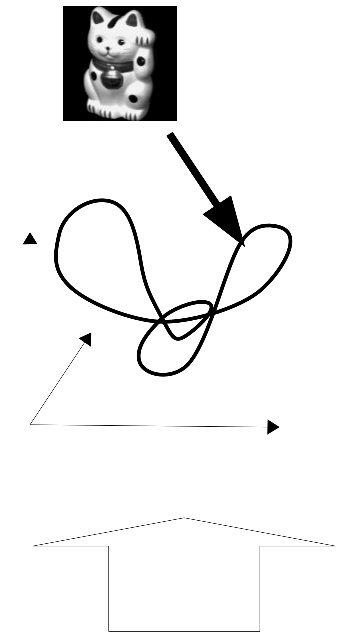


- **マルチポート固有空間法**
  - 学習画像への情報の埋め込み
  - 認識する画像には情報は存在しない

どんな情報を埋め込むのか？
何を認識するための情報か？

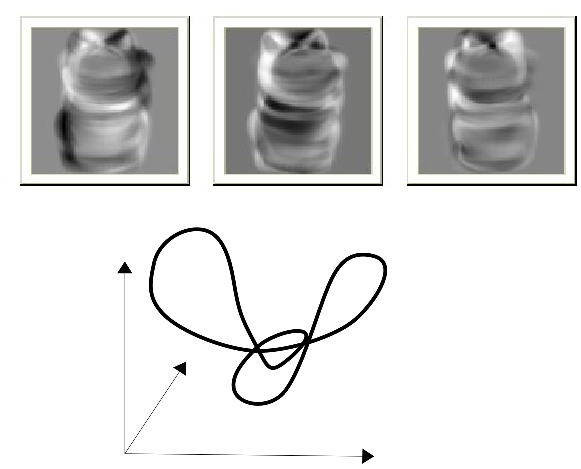
パラメトリック固有空間法≒マルチポート固有空間法





認識

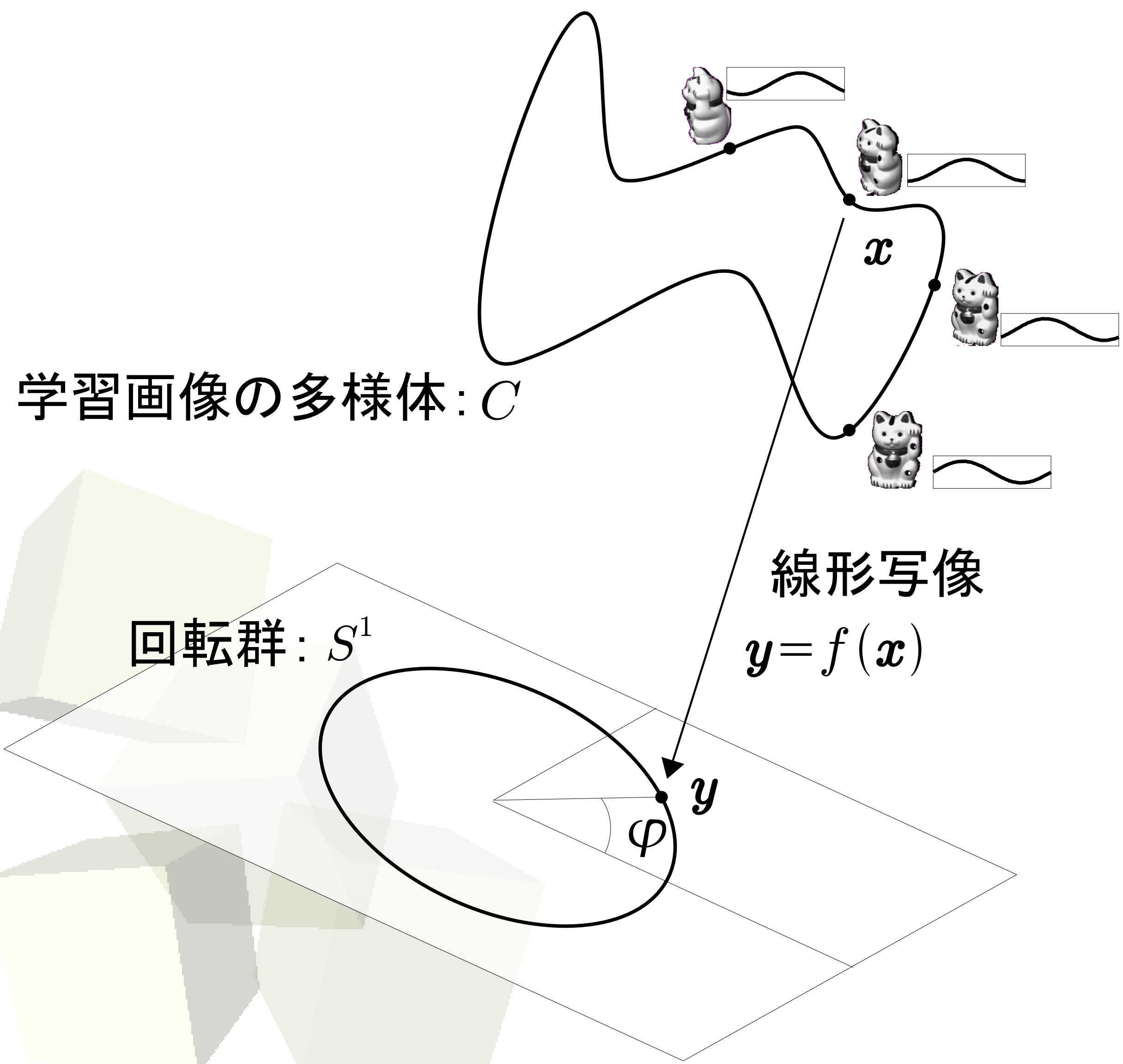
学習



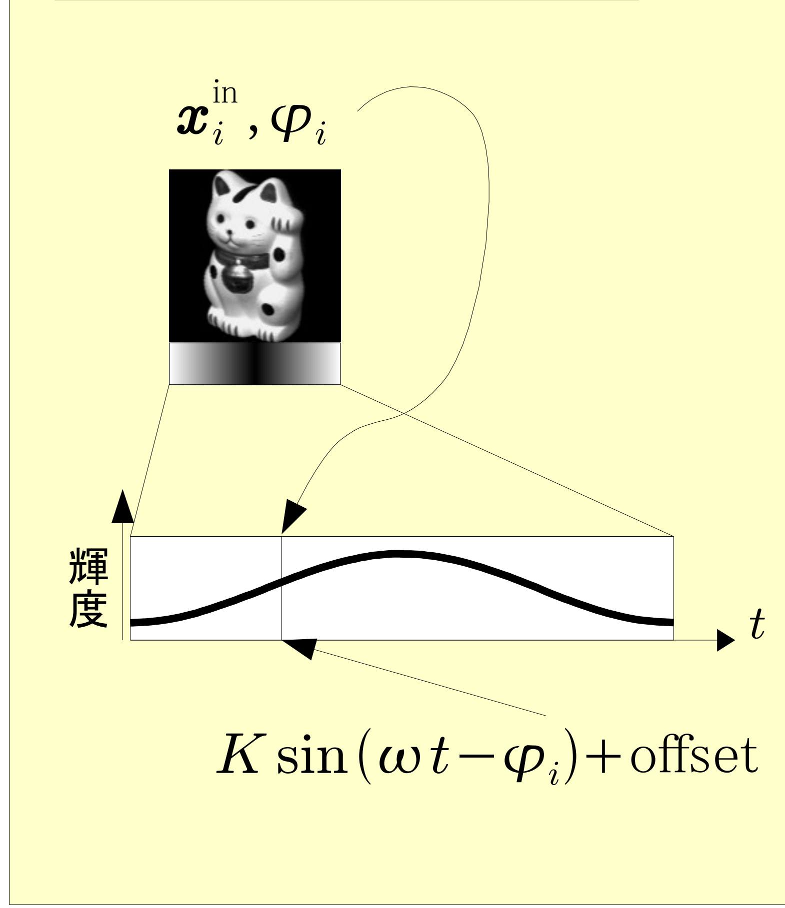
COLUMBIA UNIVERSITY IMAGE LIBRARY (COIL-20, COIL-100)
http://www1.cs.columbia.edu/CAVE/research/softlib/coil-20.html

教師付き多様体学習＝マルチポート固有空間法

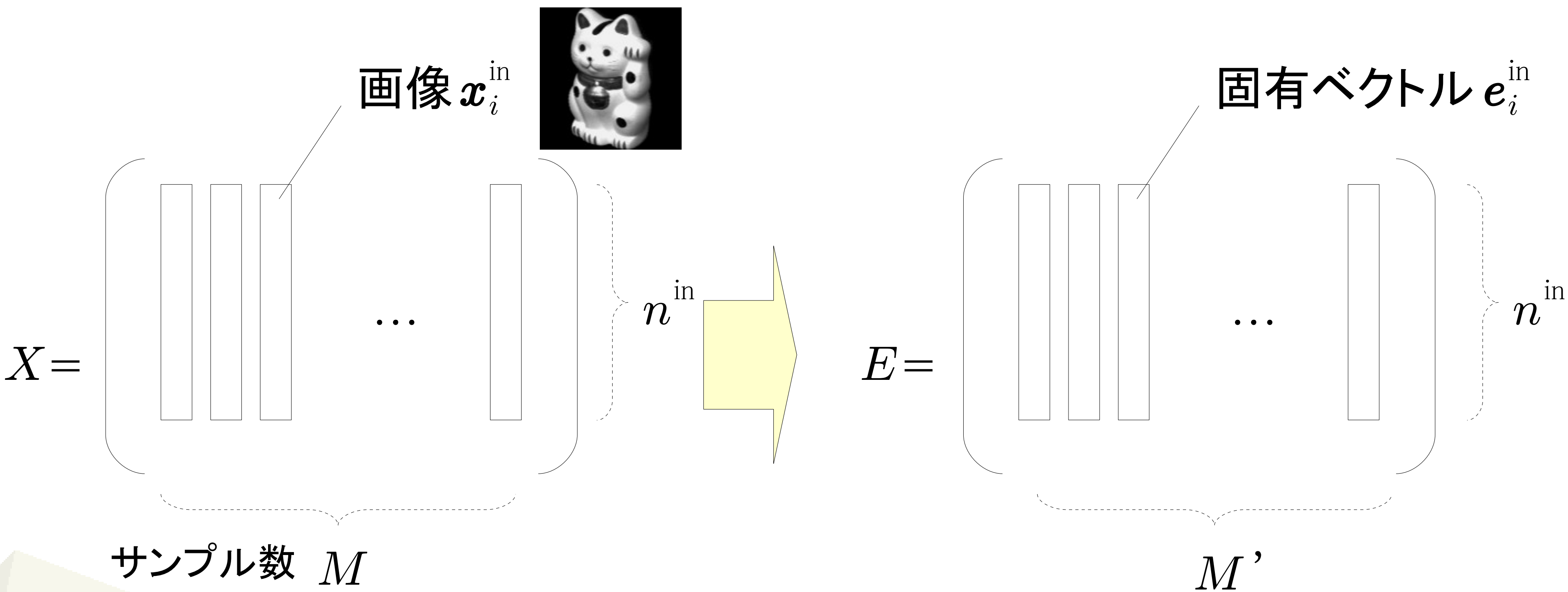
1軸回転の場合



付加する情報: 正弦波



通常の固有空間作成の場合



学習過程：固有空間作成

画像 $\boldsymbol{x}_i^{\text{in}}$

固有ベクトル $\boldsymbol{e}_i^{\text{in}}$

$$X = \begin{pmatrix} \cdots \\ \cdots \end{pmatrix}$$

$$E = \begin{pmatrix} \cdots \\ \cdots \end{pmatrix}$$

情報 $\boldsymbol{x}_i^{\text{out}}$ $\longrightarrow t$

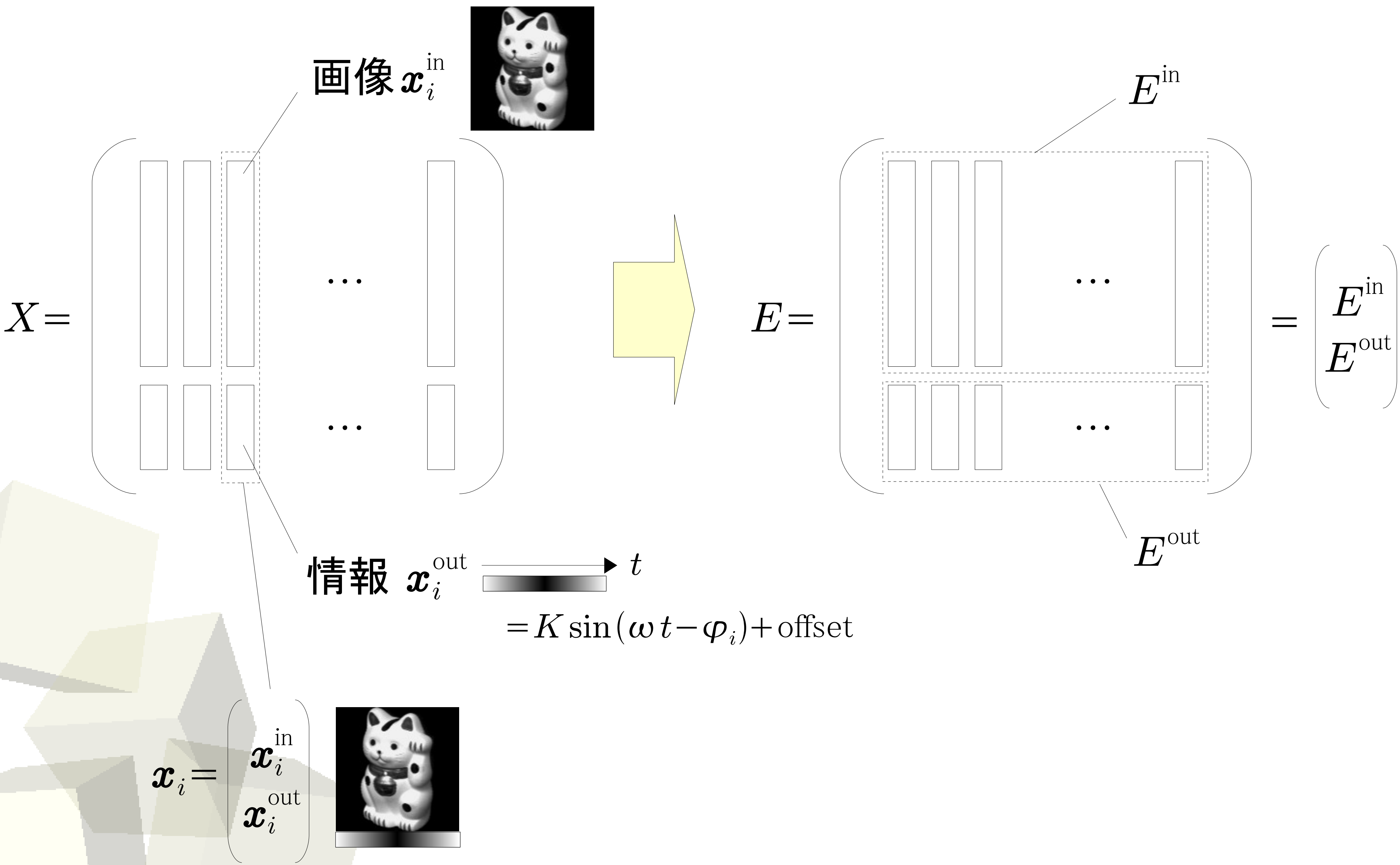
$=K\sin(\omega t - \varphi_i) + \text{offset}$

固有ベクトル $\boldsymbol{e}_i^{\text{out}}$

$$\boldsymbol{x}_i = \begin{pmatrix} \boldsymbol{x}_i^{\text{in}} \\ \boldsymbol{x}_i^{\text{out}} \end{pmatrix}$$

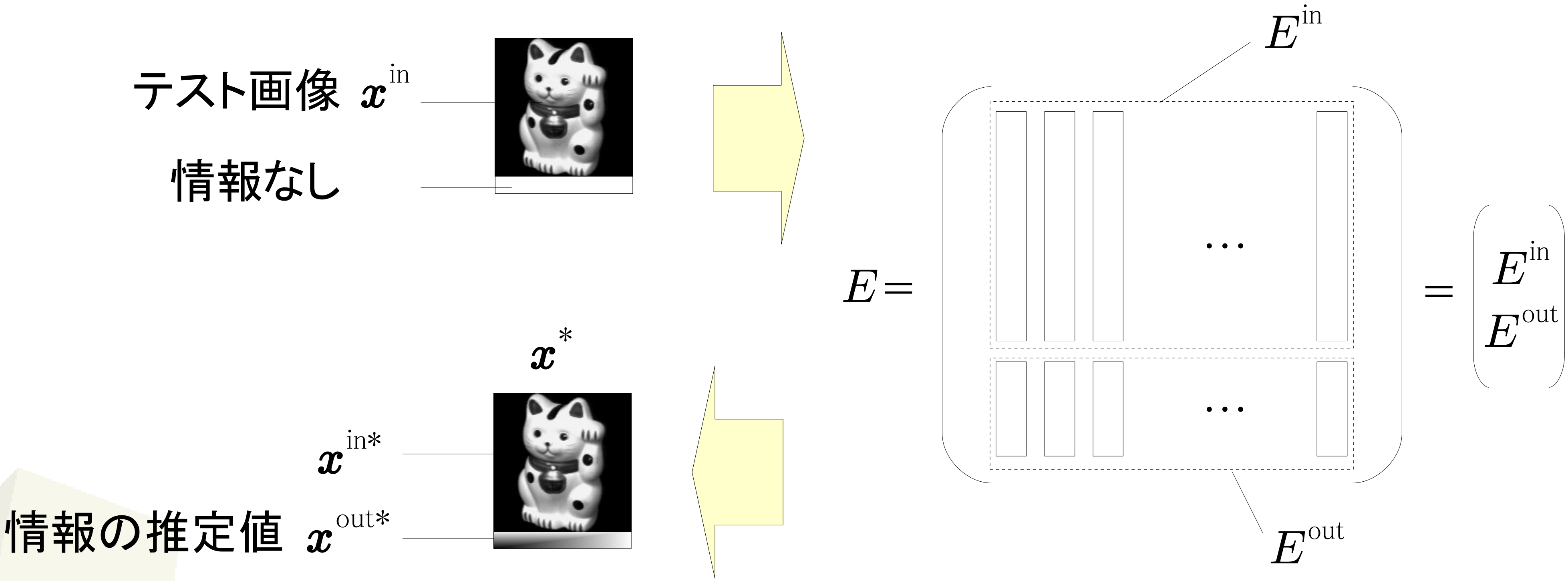
$$\boldsymbol{e}_i = \begin{pmatrix} \boldsymbol{e}_i^{\text{in}} \\ \boldsymbol{e}_i^{\text{out}} \end{pmatrix}$$

学習過程：固有空間作成



画像 $\boldsymbol{x}_i^{\mathrm{in}}$
$X=$
$E=$
E^{in}
$=\begin{pmatrix} E^{\mathrm{in}} \\ E^{\mathrm{out}} \end{pmatrix}$
E^{out}
情報 $\boldsymbol{x}_i^{\mathrm{out}}$
t
$=K\sin(\omega t-\varphi_i)+\mathrm{offset}$
$\boldsymbol{x}_i=\begin{pmatrix} \boldsymbol{x}_i^{\mathrm{in}} \\ \boldsymbol{x}_i^{\mathrm{out}} \end{pmatrix}$

推定過程:BPLP

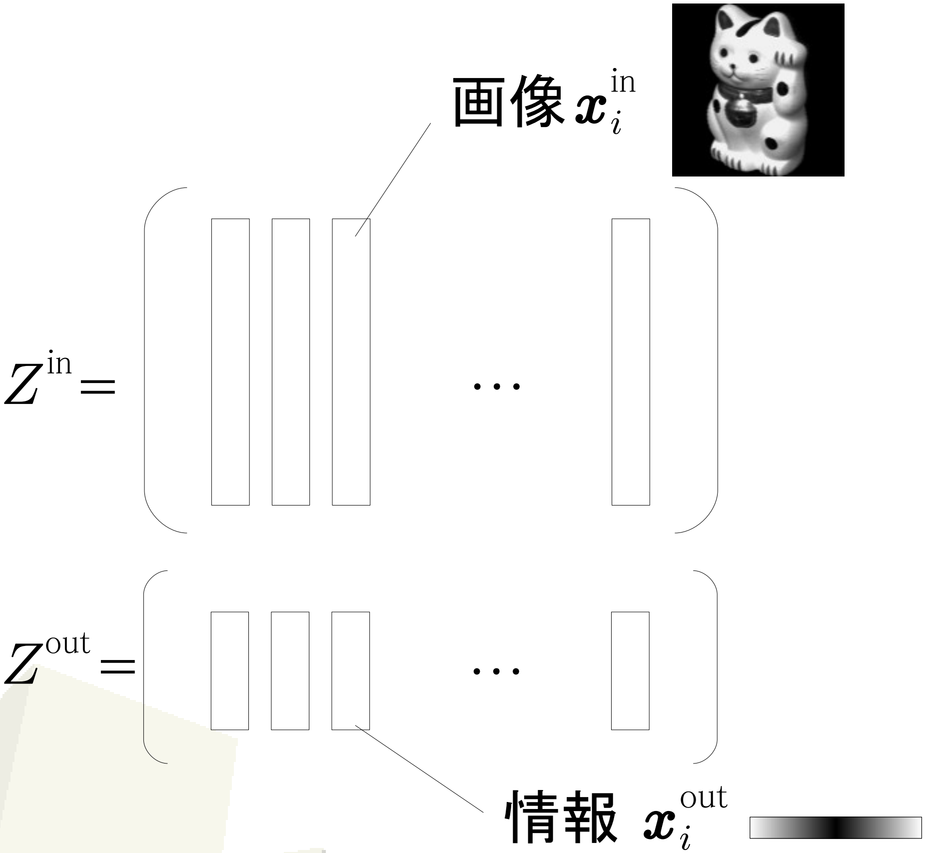


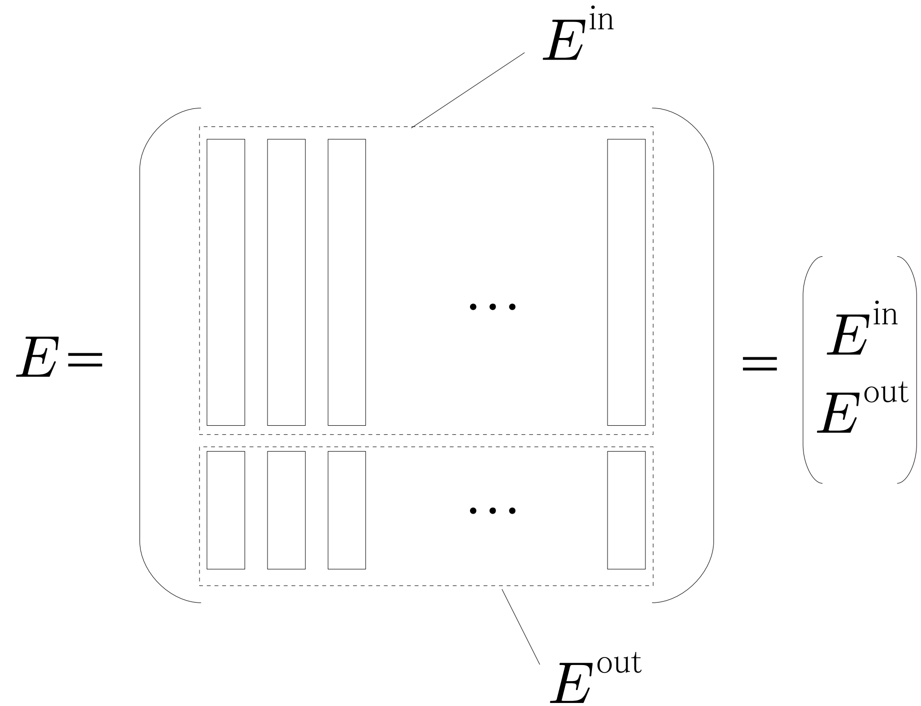
$$\boldsymbol{x}^{*}=E\left(E^{\mathrm{in}\,T}E^{\mathrm{in}}\right)^{-1}E^{\mathrm{in}\,T}\boldsymbol{x}^{\mathrm{in}}$$:BPLPによる推定式

$$\Rightarrow \quad \boldsymbol{x}^{\mathrm{out}*}=E^{\mathrm{out}}\left(E^{\mathrm{in}\,T}E^{\mathrm{in}}\right)^{-1}E^{\mathrm{in}\,T}\boldsymbol{x}^{\mathrm{in}} \equiv A\boldsymbol{x}^{\mathrm{in}}$$

- 入力と出力が行列（線形写像）Aによって関係付けられる

連立方程式による定式化





$$Z^{\mathrm{out}} = A Z^{\mathrm{in}}$$

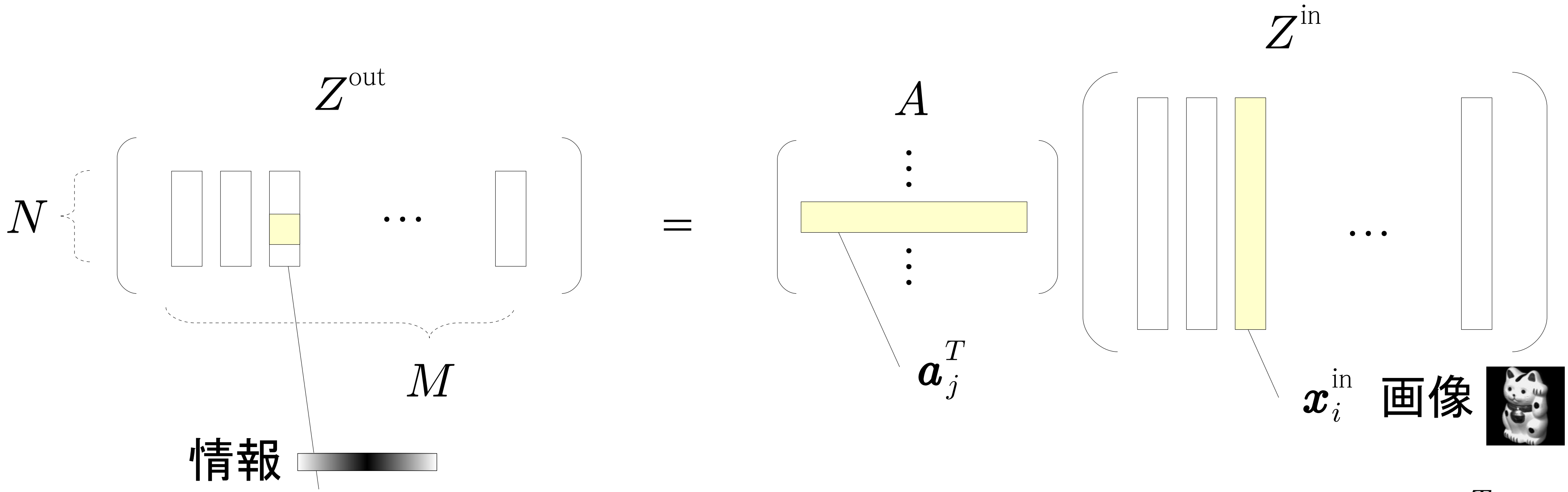
入出力を線形に関係付けた
連立方程式

等価

$$\boldsymbol{x}^{\mathrm{out}*} = E^{\mathrm{out}} \left(E^{\mathrm{in}T} E^{\mathrm{in}} \right)^{-1} E^{\mathrm{in}T} \boldsymbol{x}^{\mathrm{in}}$$
$$\equiv A \boldsymbol{x}^{\mathrm{in}}$$

入出力を連結して
作成した固有空間の逆射影

連立方程式の行列Aの性質



$$\boldsymbol{x}_i^{\text{out}} = \left(\sin\left(\frac{1}{N}\pi - \varphi_i\right), \ldots, \sin\left(\frac{j}{N}\pi - \varphi_i\right), \ldots, \sin\left(\frac{N}{N}\pi - \varphi_i\right) \right)^T$$

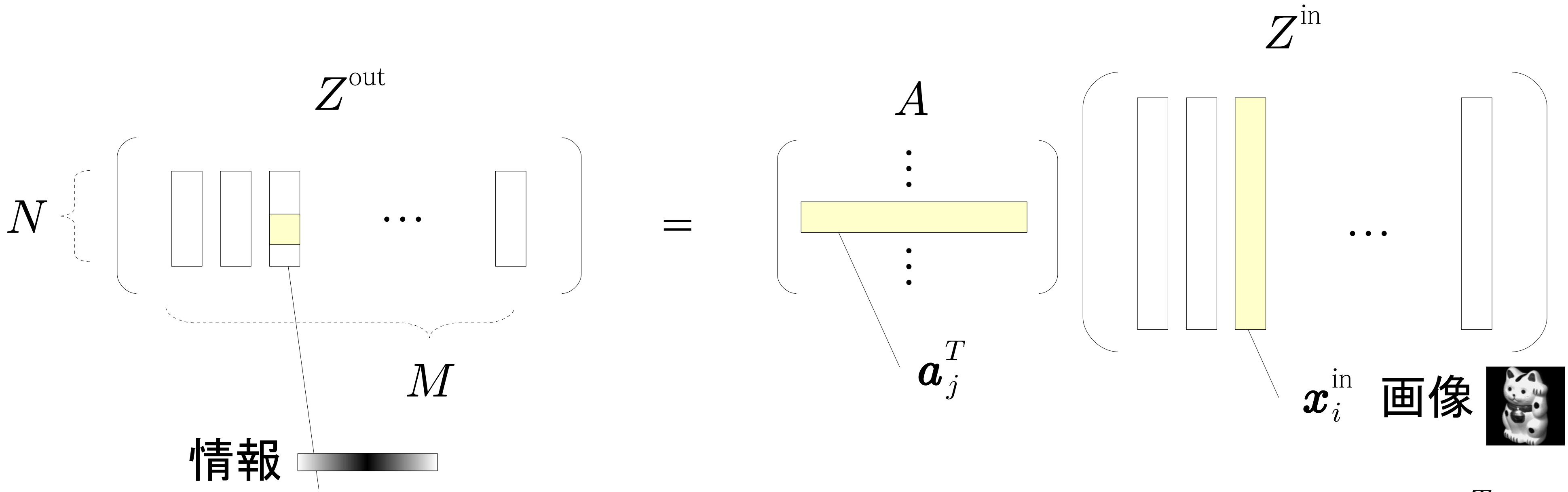
半波長がNの正弦波

- 各列は位相の異なる正弦波
- ある位相の正弦波は二つの位相の異なる正弦波の和で表せる
- 各列は他の二列の和で表せる

$\Rightarrow$

$$\mathrm{rank}(Z^{\text{out}}) = 2$$
$$\mathrm{rank}(Z^{\text{in}}) \geq 2 \quad \rightarrow \quad \mathrm{rank}(A) = 2$$

連立方程式の行列Aの性質



$$\boldsymbol{x}_i^{\mathrm{out}} = \left(\sin\left(\frac{1}{N}\pi - \varphi_i\right), \ldots, \sin\left(\frac{j}{N}\pi - \varphi_i\right), \ldots, \sin\left(\frac{N}{N}\pi - \varphi_i\right) \right)^T$$

半波長がNの正弦波

行列のj行i列目

$$\sin\left(\frac{j}{N}\pi - \varphi_i\right) = \boldsymbol{a}_j^T \boldsymbol{x}_i^{\mathrm{in}}$$

:平面の方程式

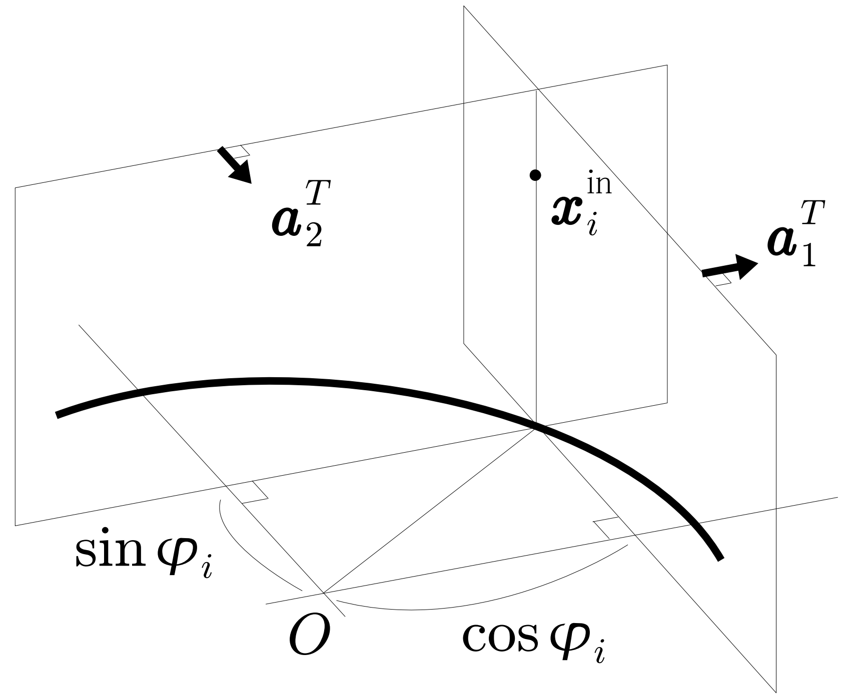
- 超平面集合Aによる入力Z^{in}の投影
- 2次元平面Z^{out}への投影

超平面による投影：$N=2$の場合

$N=2$の場合

$$\sin\left(\frac{1}{2}\pi-\varphi_i\right)=\cos\varphi_i=\boldsymbol{a}_1^T\boldsymbol{x}_i^{\mathrm{in}}$$

$$\sin\left(\frac{2}{2}\pi-\varphi_i\right)=\sin\varphi_i=\boldsymbol{a}_2^T\boldsymbol{x}_i^{\mathrm{in}}$$



$\boldsymbol{a}_1^T \perp \boldsymbol{a}_2^T$

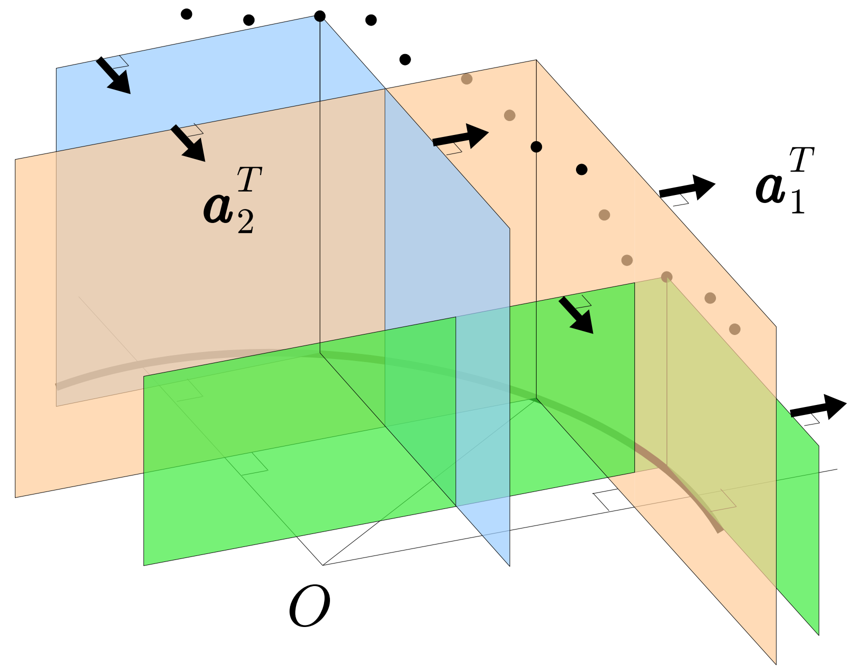
- $\boldsymbol{x}_i^{\mathrm{in}}$は$\boldsymbol{a}_1,\boldsymbol{a}_2$を法線とする超平面に乗る
- $\boldsymbol{a}_1$と$\boldsymbol{a}_2$が張る2次元平面へ投影される
- 投影された軌跡は単位円周

超平面による投影：$N=2$の場合

$N=2$の場合

$$\sin\left(\frac{1}{2}\pi-\varphi_i\right)=\cos\varphi_i=\boldsymbol{a}_1^T\boldsymbol{x}_i^{\mathrm{in}}$$

$$\sin\left(\frac{2}{2}\pi-\varphi_i\right)=\sin\varphi_i=\boldsymbol{a}_2^T\boldsymbol{x}_i^{\mathrm{in}}$$

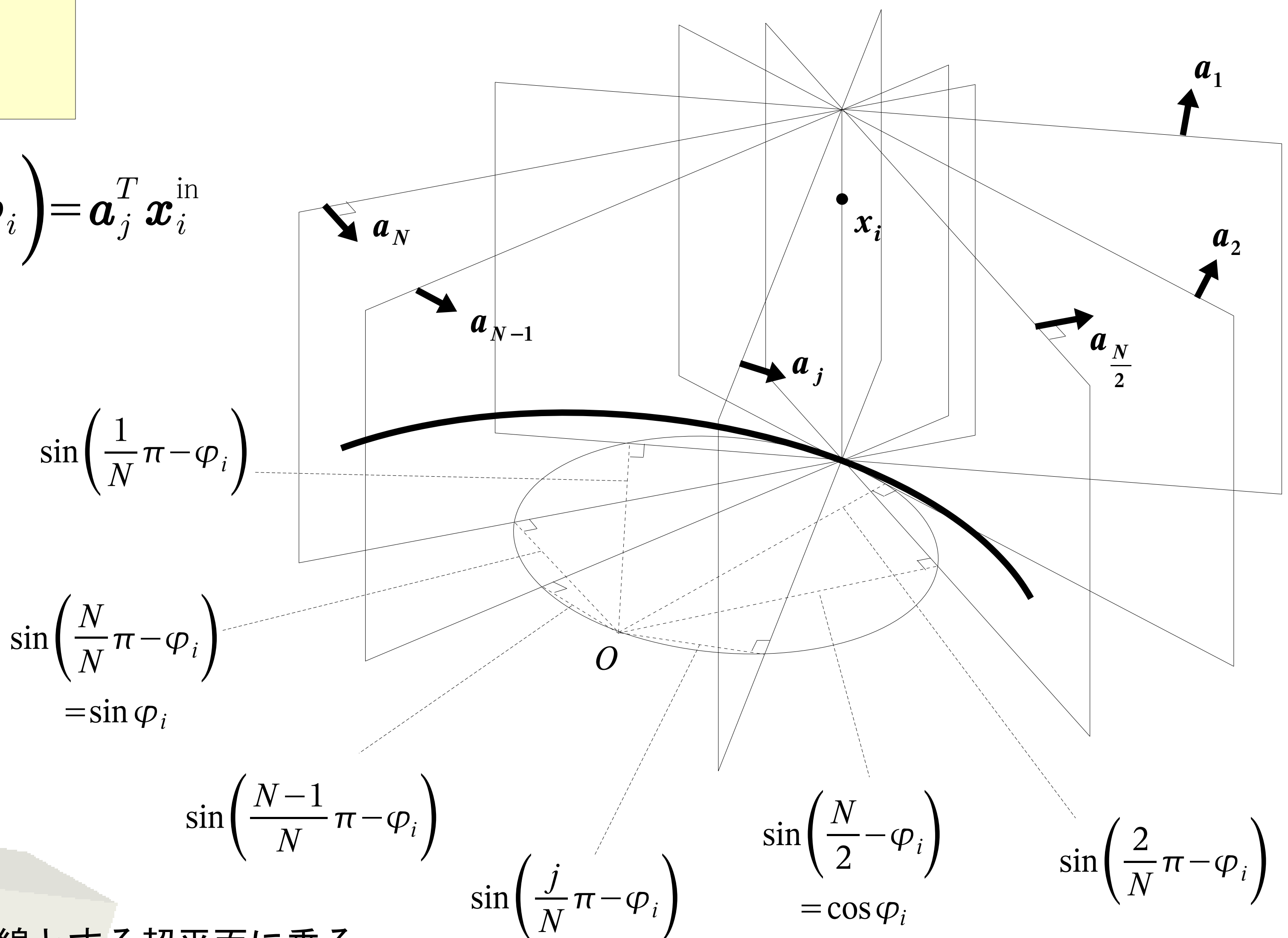


- $\boldsymbol{x}_i^{\mathrm{in}}$は$\boldsymbol{a}_1,\boldsymbol{a}_2$を法線とする超平面に乗る
- $\boldsymbol{a}_1$と$\boldsymbol{a}_2$が張る2次元平面へ投影される
- 投影された軌跡は単位円周

超平面による投影：$N>2$の場合

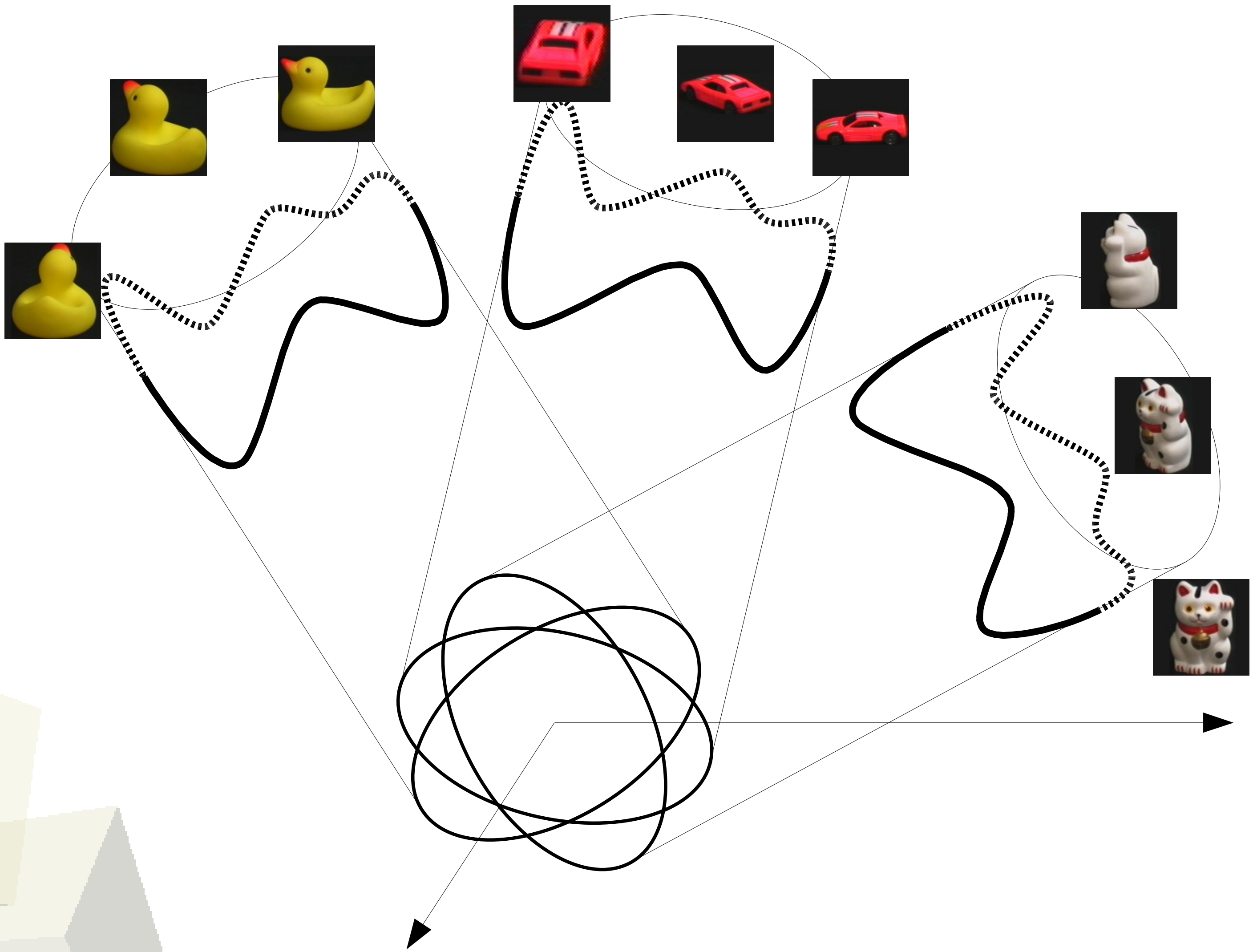
$N>2$の場合

$$\sin\left(\frac{j}{N}\pi-\varphi_i\right)=\boldsymbol{a}_j^T\boldsymbol{x}_i^{\mathrm{in}}$$



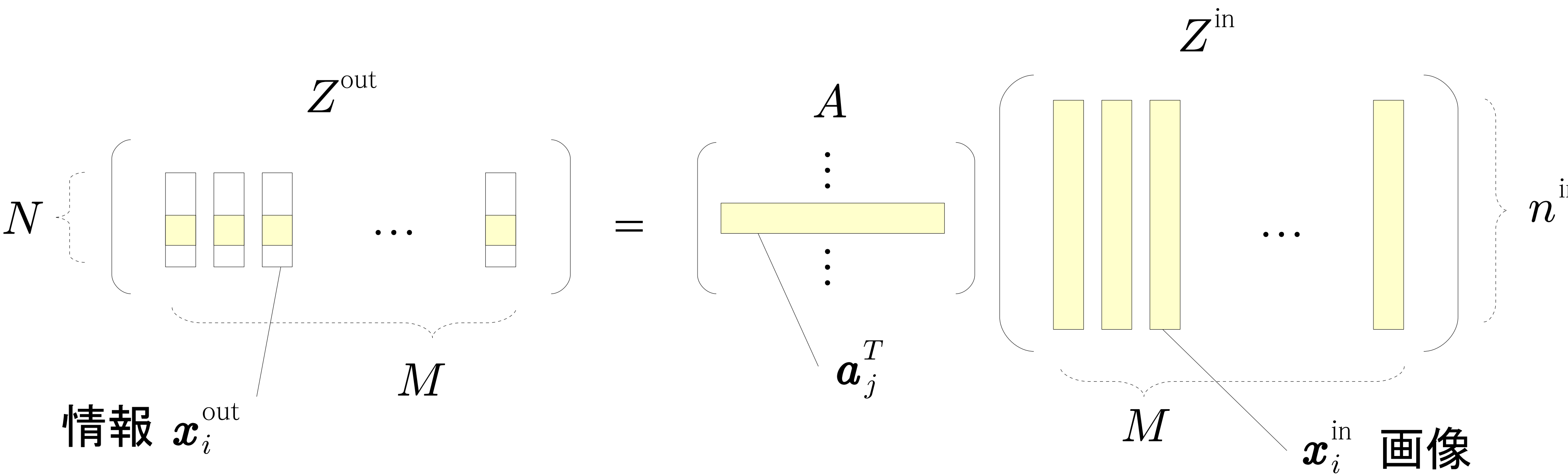
- $\boldsymbol{x}_i^{\mathrm{in}}$は$\boldsymbol{a}_1,\boldsymbol{a}_2,\ldots,\boldsymbol{a}_N$を法線とする超平面に乗る
- $\boldsymbol{a}_1,\boldsymbol{a}_2,\ldots,\boldsymbol{a}_N$の内の二つが張る2次元平面へ投影される
- 投影された軌跡は単位円周

超平面による投影：複数物体について

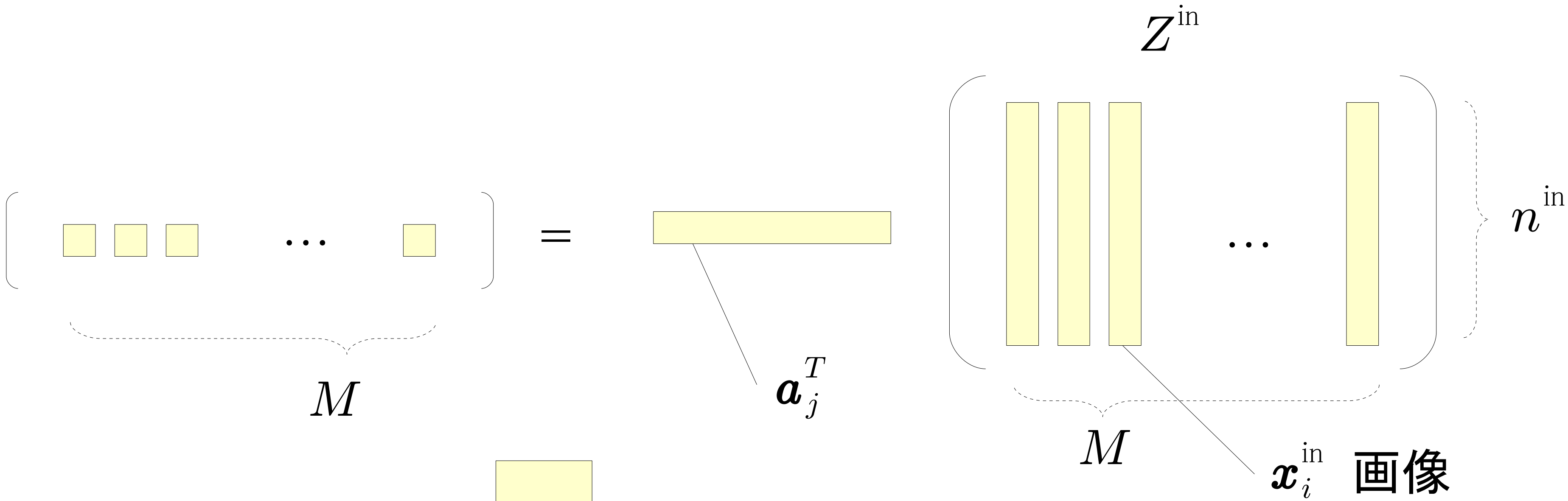


- 物体毎に多様体は異なる
- 物体毎に固有空間を学習する（識別はしない）
- 投影される方向（超平面の法線ベクトル：行列A）は異なる
- 多様体は、投影される単位円を底面にもつ円筒上に存在する

多様体を円に投影する線形射影A



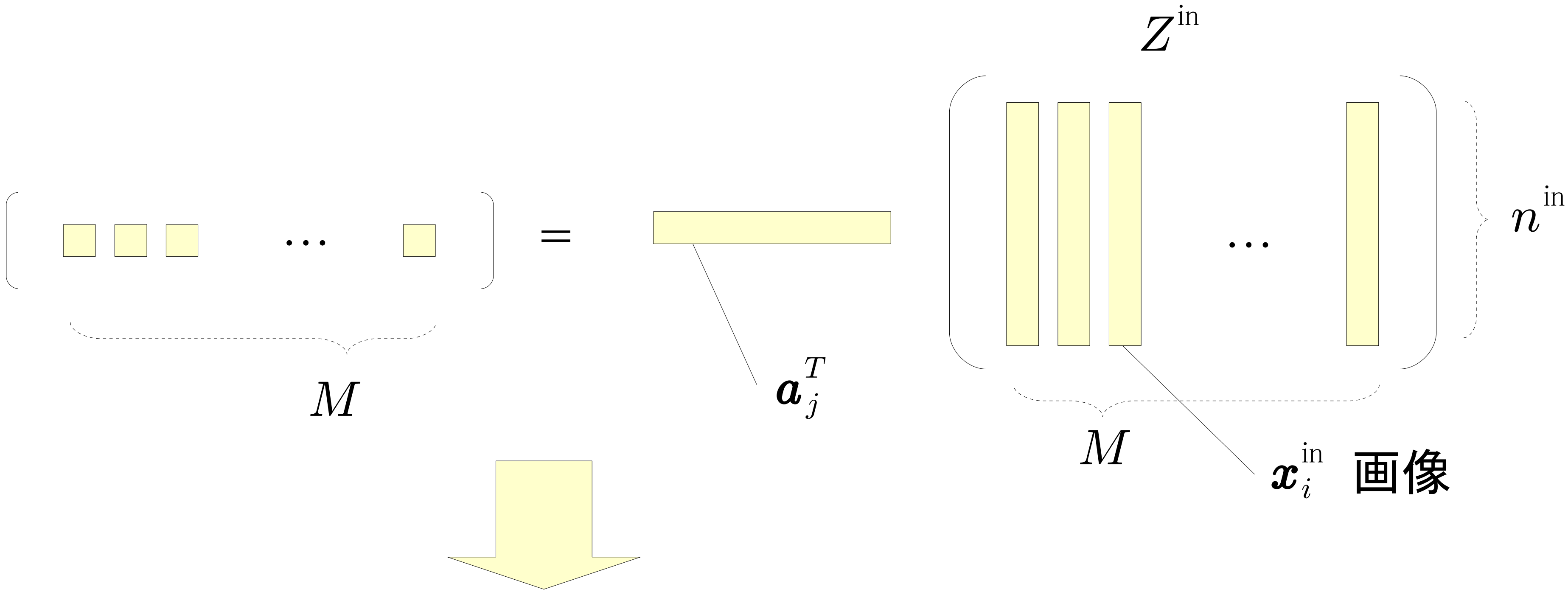
多様体を円に投影する線形射影A

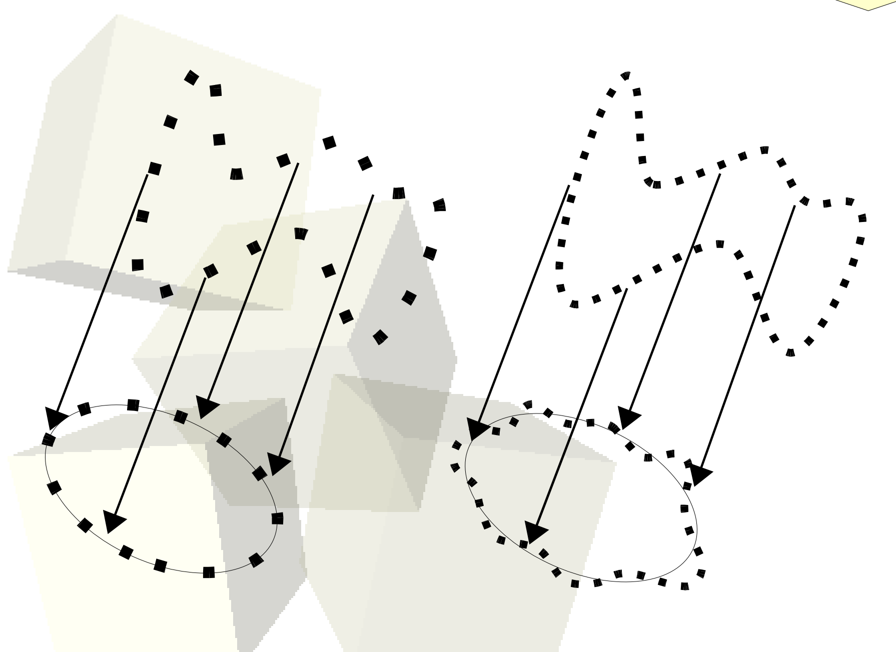


$$\begin{pmatrix} \sin\left(\frac{j}{N}\pi-\varphi_1\right) \\ \sin\left(\frac{j}{N}\pi-\varphi_2\right) \\ \vdots \\ \sin\left(\frac{j}{N}\pi-\varphi_M\right) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \boldsymbol{x}_1^{\mathrm{in}\,T} \\ \boldsymbol{x}_2^{\mathrm{in}\,T} \\ \vdots \\ \boldsymbol{x}_M^{\mathrm{in}\,T} \end{pmatrix} \boldsymbol{a}_j^T$$

- 未知数は$\boldsymbol{a}_j$（画像の次元と同じn^{in}個）
- 式はサンプル数M本を連立
- 通常は$M<n^{\mathrm{in}}$: 劣決定
  - 解は無数に存在
  - 学習画像は単位円に射影される

多様体を円に投影する線形射影A

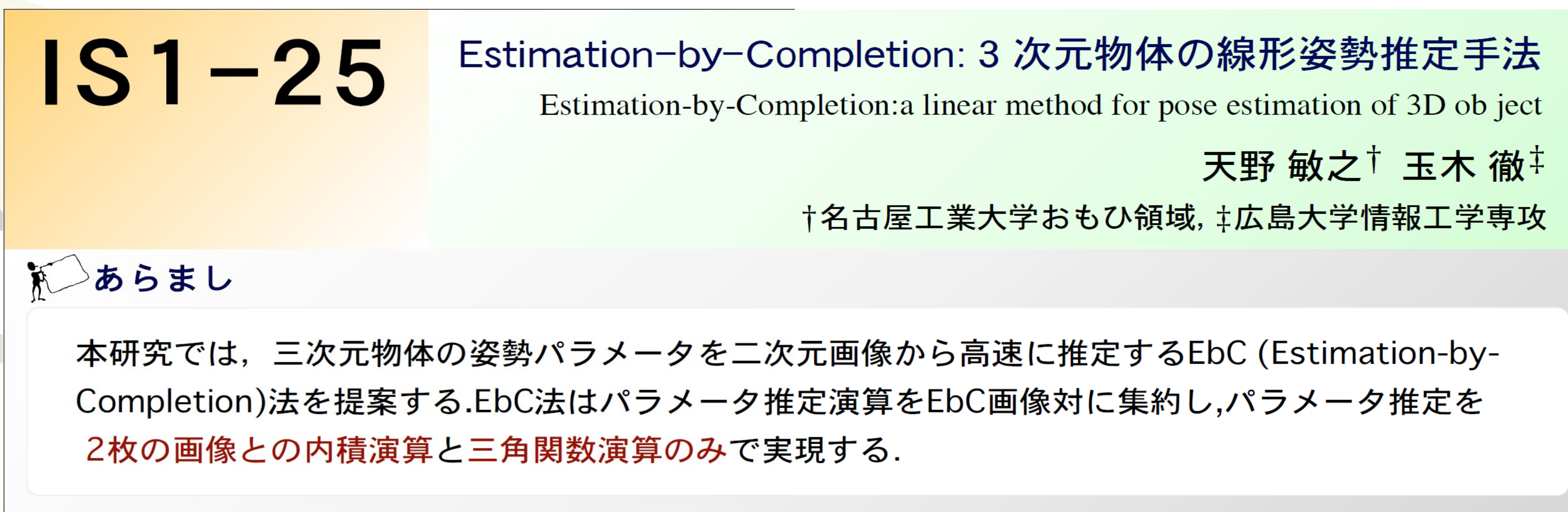




- 未知数は$\boldsymbol{a}_j$（画像の次元と同じn^{in}個）
- 式はサンプル数M本を連立
- 通常は$M < n^{\mathrm{in}}$：劣決定
  - 解は無数に存在
  - 学習画像は単位円に射影される

まとめ

- マルチポート固有空間法
  - 学習画像に付加情報をつけて学習
  - 入力ベクトルと出力ベクトルを連結して固有空間を作成
  - BPLPにより推定
- 入出力を線形に関係付けた連立方程式と等価
- 学習画像がなす多様体は2次元平面の単位円に投影される



IS1−25

Estimation−by−Completion: 3 次元物体の線形姿勢推定手法

Estimation-by-Completion:a linear method for pose estimation of 3D ob ject

天野 敏之† 玉木 徹‡

†名古屋工業大学おもひ領域, ‡広島大学情報工学専攻

あらまし

本研究では，三次元物体の姿勢パラメータを二次元画像から高速に推定するEbC (Estimation-by-Completion)法を提案する.EbC法はパラメータ推定演算をEbC画像対に集約し,パラメータ推定を 2枚の画像との内積演算と三角関数演算のみで実現する.