部分空間法と識別器

第１３回画像センシングシンポジウム

２００７年６月７日

筑波大学大学院　システム情報工学研究科

福井　和広

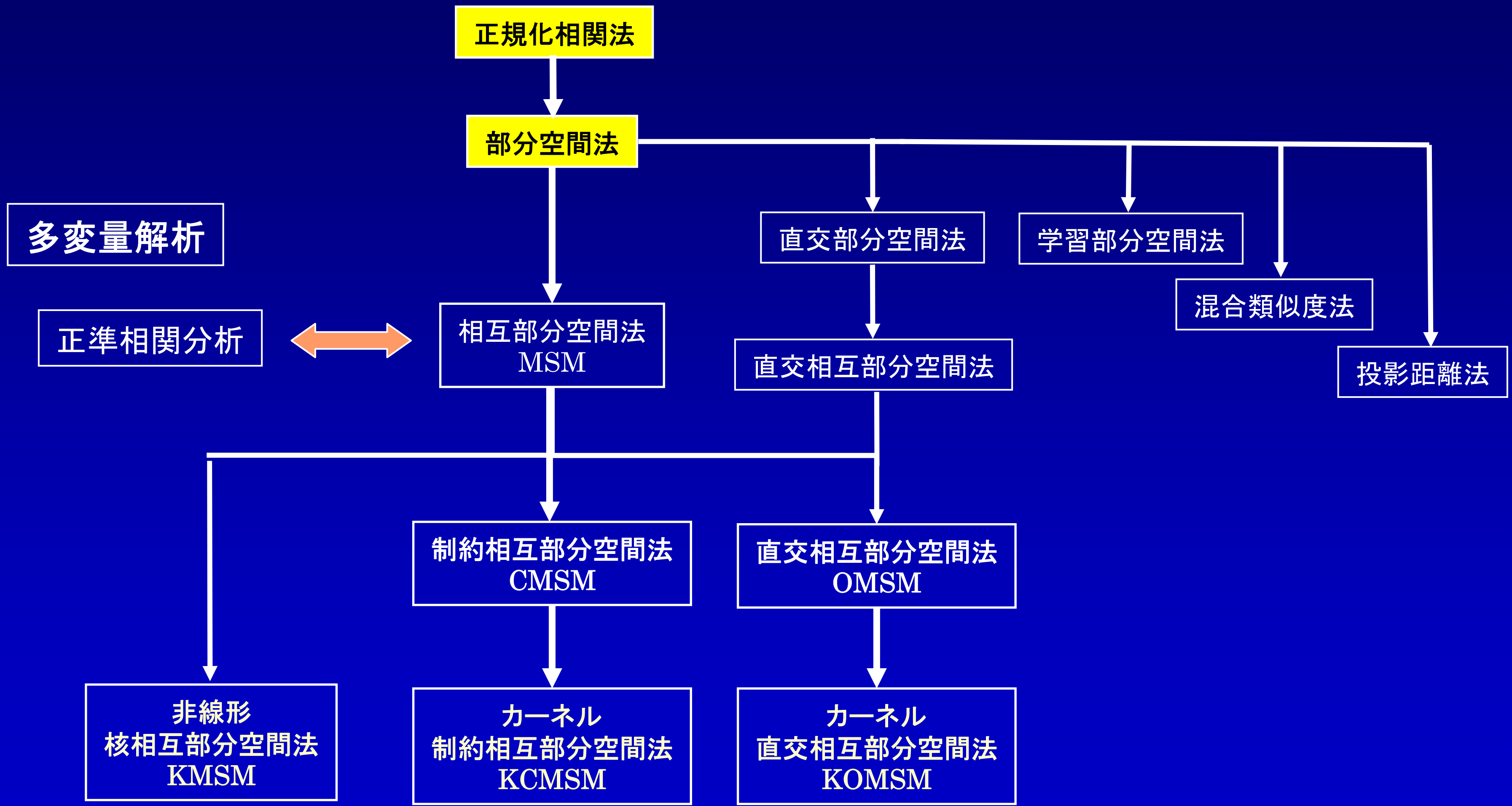
部分空間法とは

- 部分空間法 （Watanabe 1969） 射影長
- 複合類似度法 （飯島 1969） 角度

- 文字認識，顔認識など実問題で大きな成果
  - 様々な商用システムのコア
  - 実践能力と奥深い理論を兼ね備えた識別法

- 現在も活発に様々な理論拡張が進展中
  - 部分空間法研究会2006（予稿集は以下からダウンロード可）
    http://www.viplab.is.tsukuba.ac.jp/~ss2006/index.html

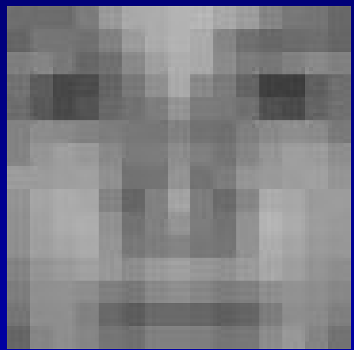
部分空間法の拡張系譜



核の方法の詳細については，部分空間法研究会の予稿集を参照のこと

画像パターンのベクトル表現

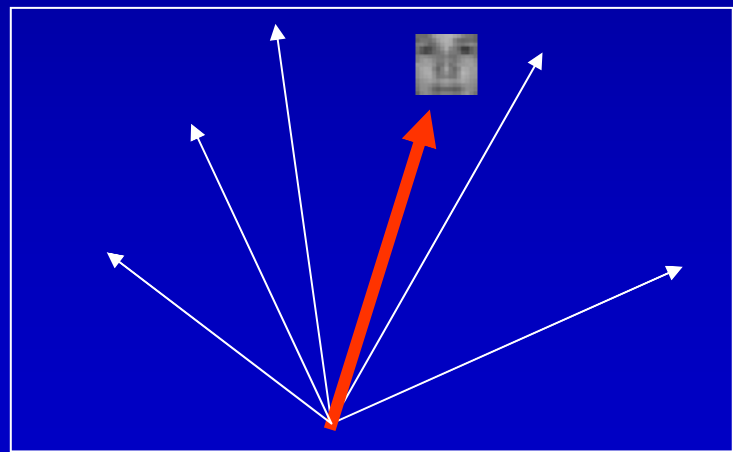
K画素



K画素

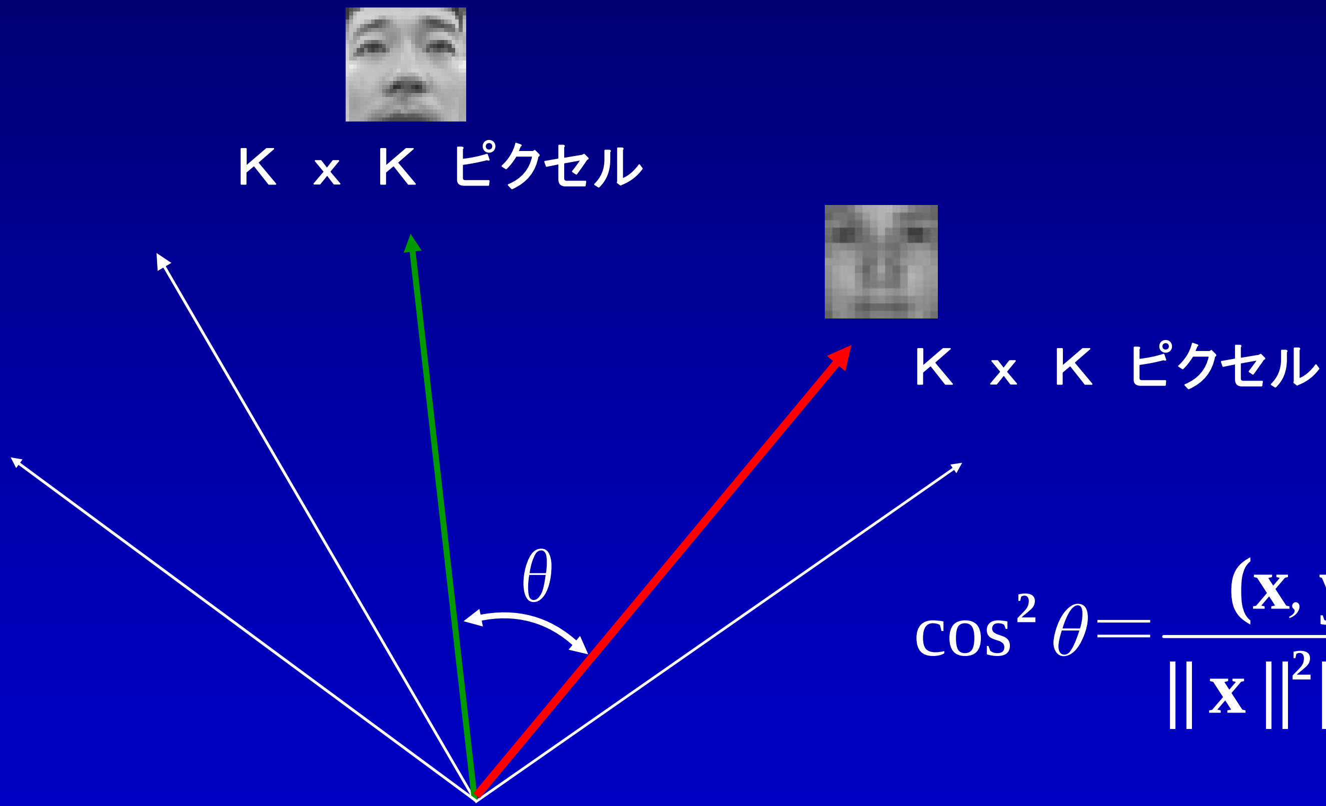
K×K次元のベクトル

この例では225次元



K×K次元　空間

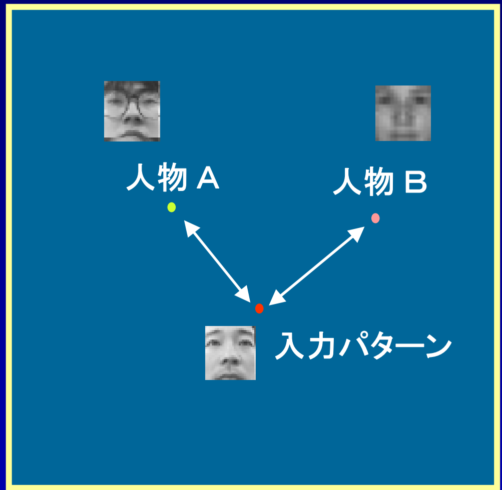
相関法による識別



$$\cos^2\theta = \frac{(\mathbf{x}, \mathbf{y})^2}{\|\mathbf{x}\|^2\|\mathbf{y}\|^2}$$

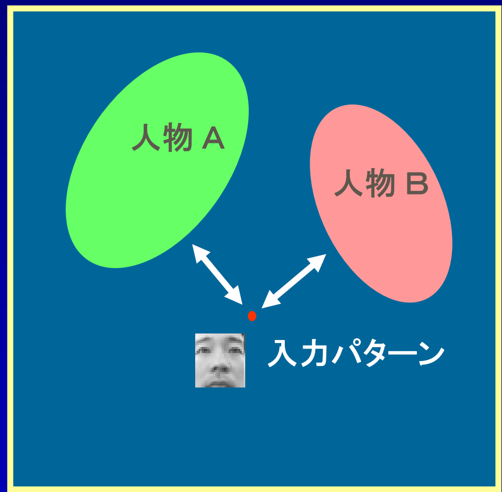
Ｋ×Ｋ次元　特徴空間

相関法の一般化



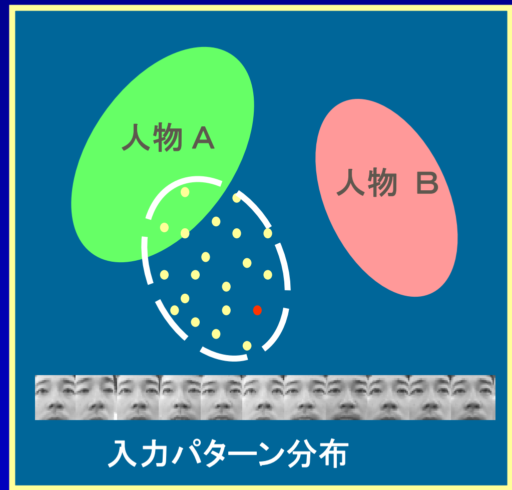
静止パターン⇔静止パターン

相関法



静止パターン⇔複数パターン

部分空間法



複数パターン⇔複数パターン

相互部分空間法

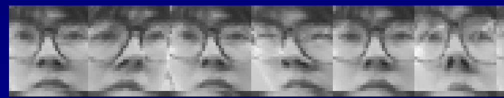
識別性能の向上

パターン分布を如何に比較するか

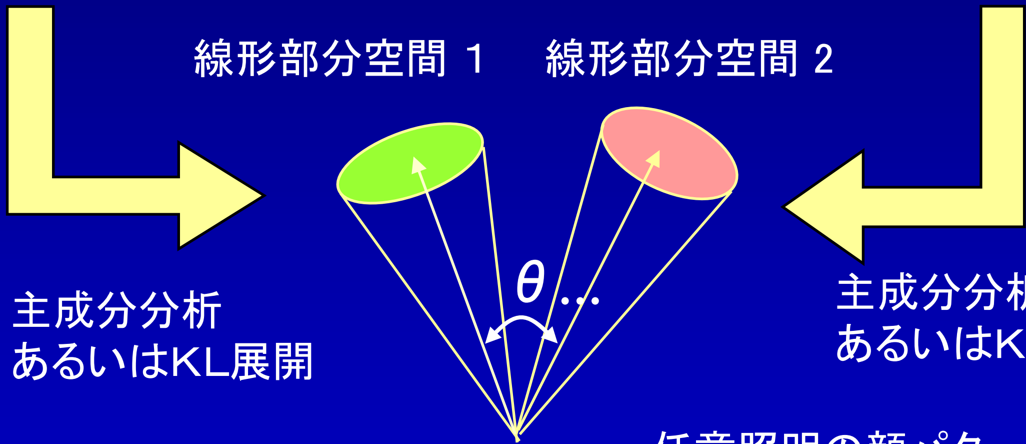
人物1

・・・・・・・

人物2



・・・・・・・

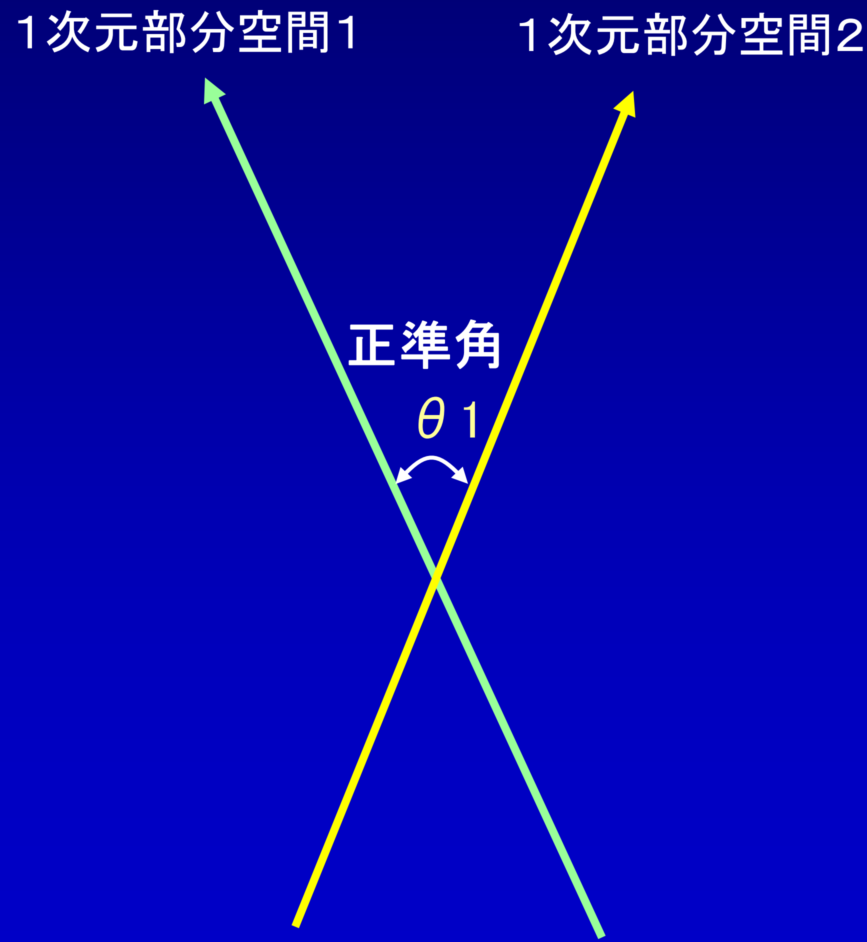


任意照明の顔パターン分布
→ 3-9次元

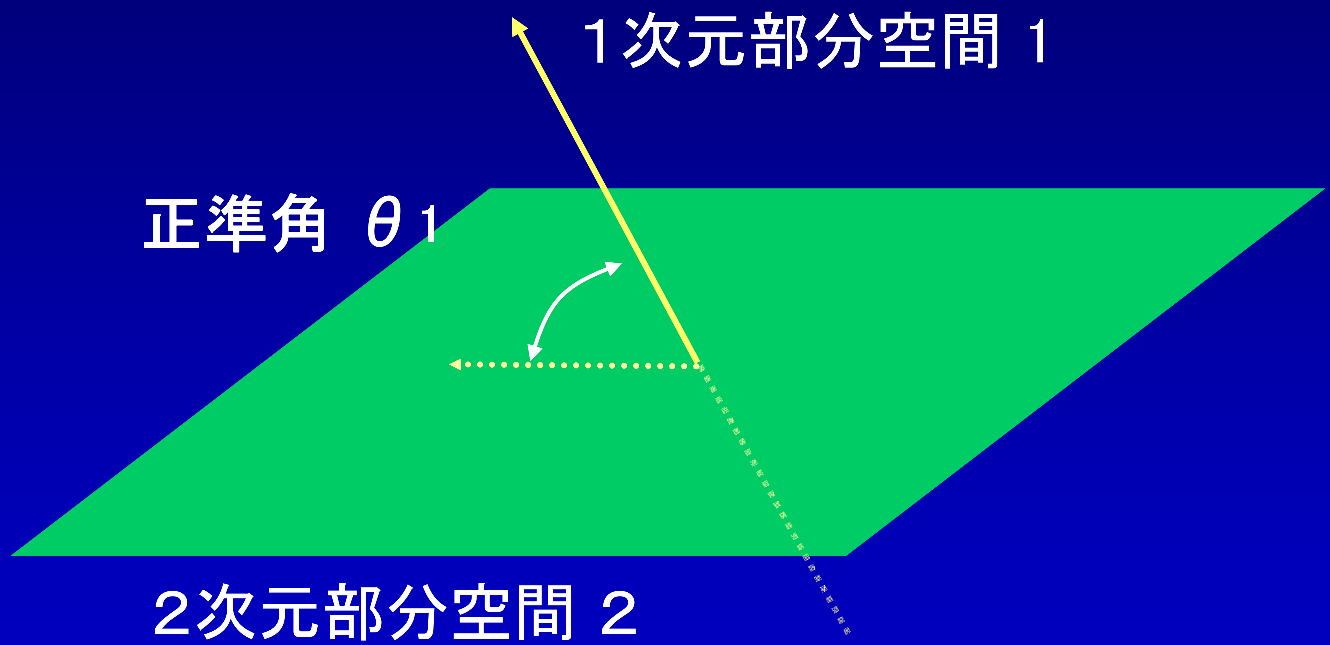
2つの部分空間の関係は正準角群 θ ...により定義

2つのパターン分布の関係は正準角により定義

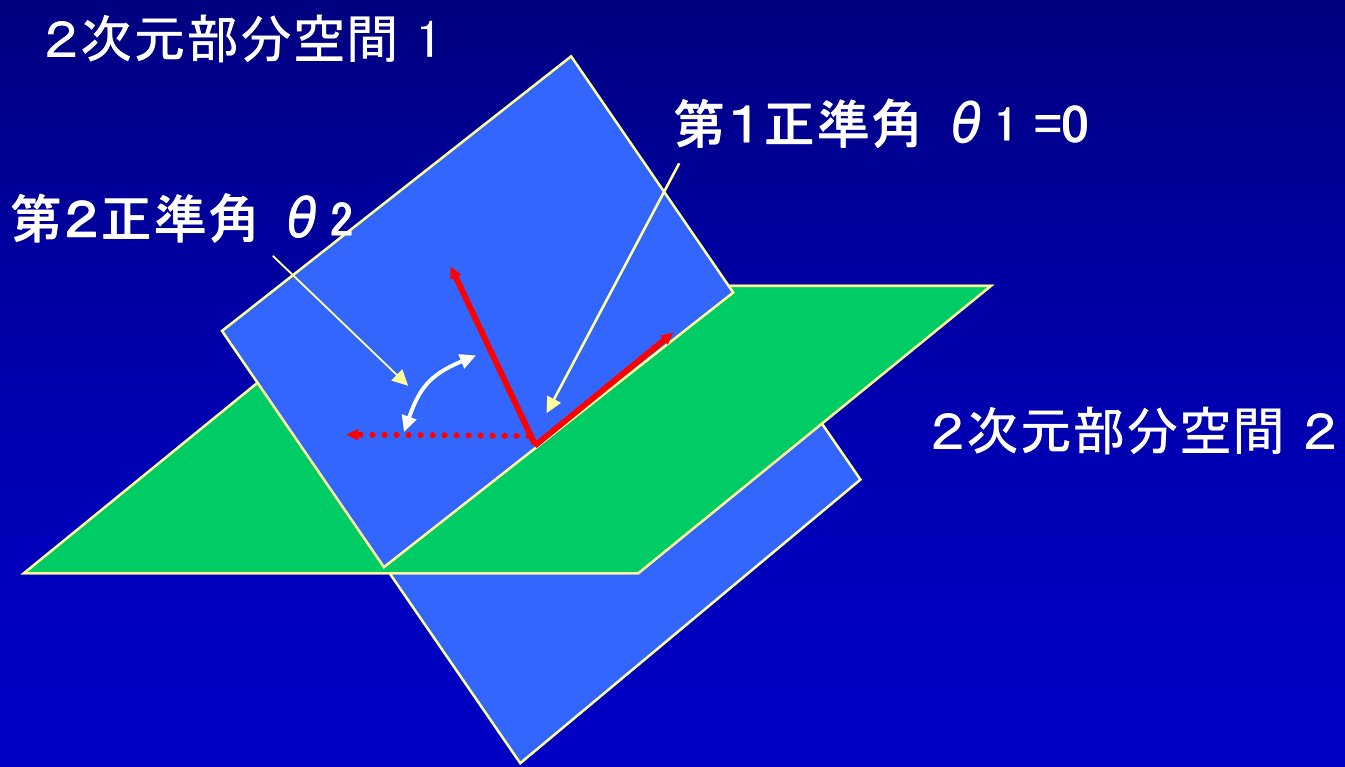
正準角の例 1



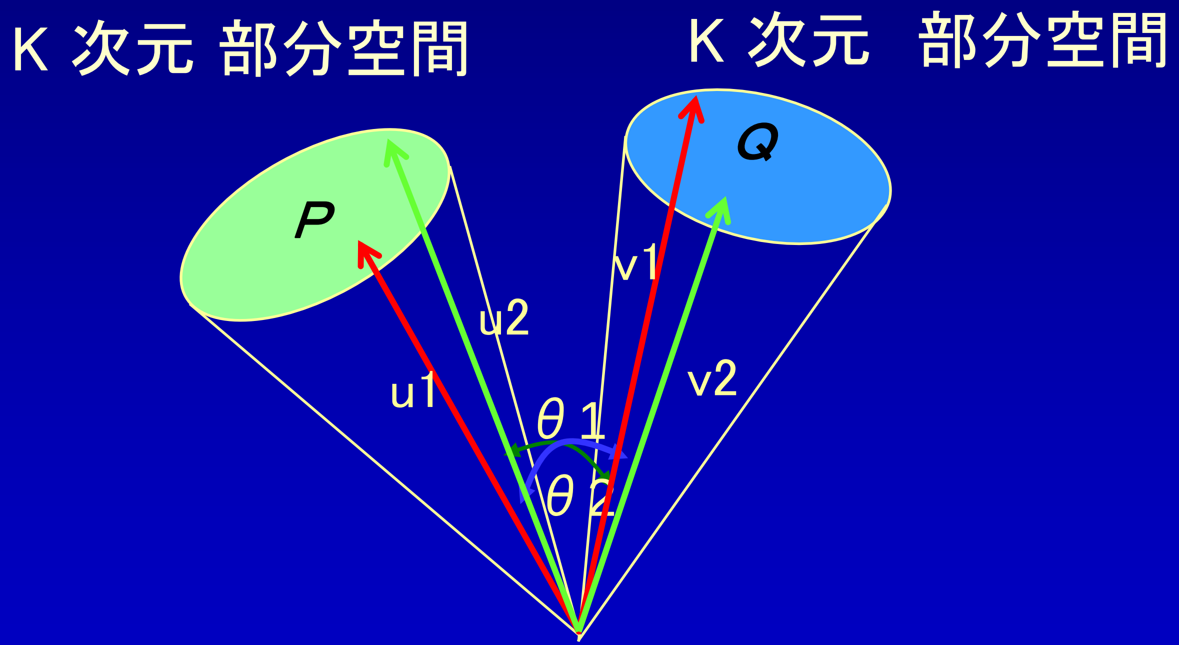
正準角の例 2



正準角の例３



正準角の例 4



K 個の正準角 θ_i (i=1−k)

正準角度の計算

K次元部分空間 P と L次元部分空間 Q の成す正準角 を θ_i とする．その余弦 $\cos\theta_i \ (i=1\sim K, K\le L)$ は，$U^T V$ の特異値 λ_i となる.

U： 部分空間PのK個の正規直交基底ベクトルを列として並べた行列

V： 部分空間QのL個の正規直交基底ベクトルを列として並べた行列

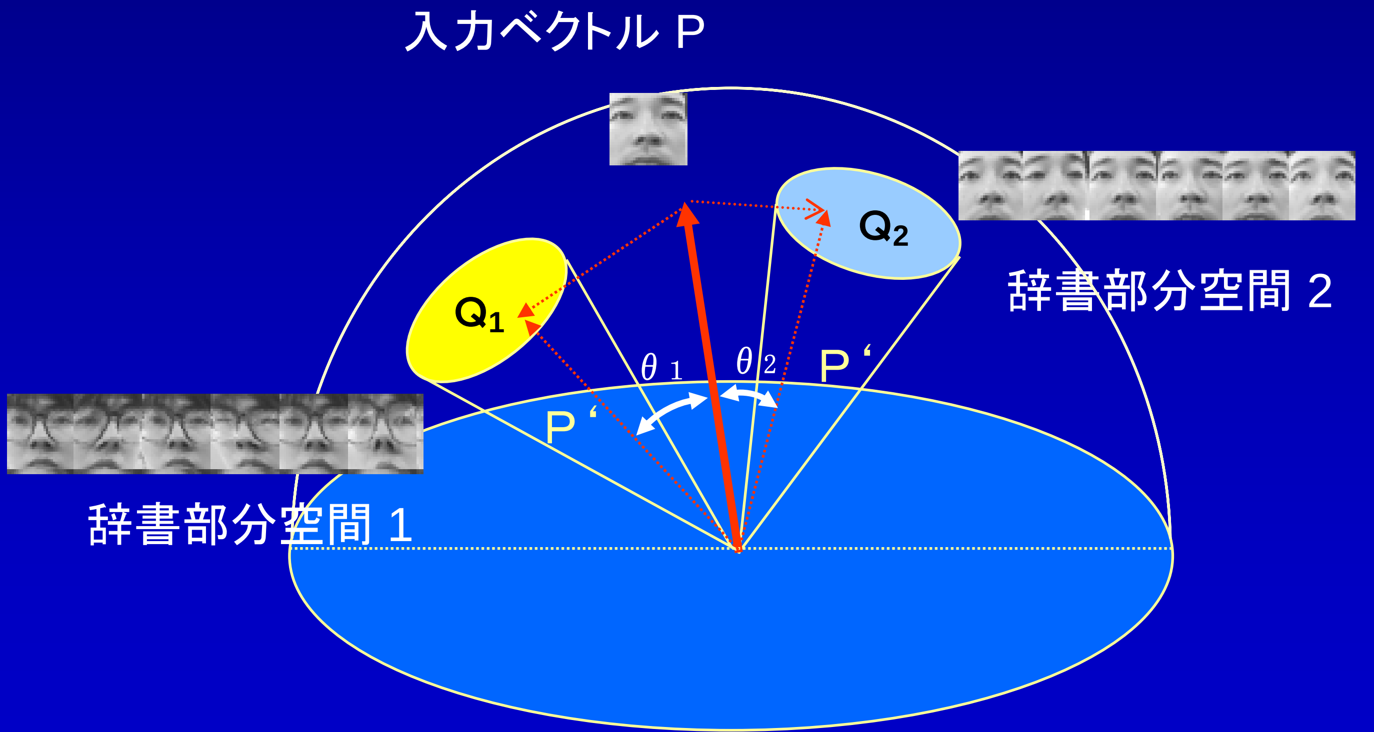
$$\cos\theta_i = \lambda_i \ (i=1\sim K)$$

θ_i: 第i番目に大きい正準角

λ_i： 第 i 番目に大きい特異値

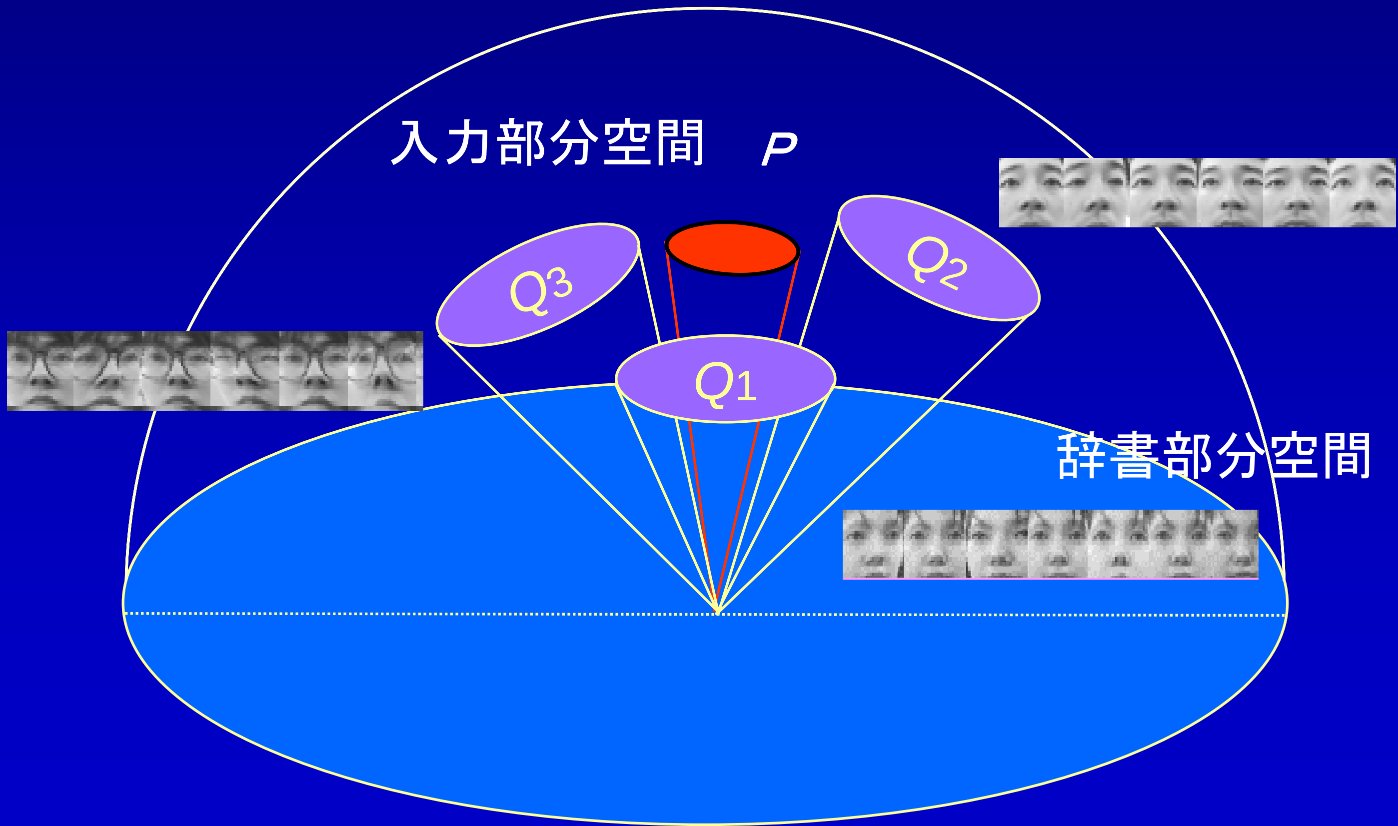
部分空間法（複合類似度法）

入力ベクトル P と辞書部分空間 *Q* の角度 *θ*（射影長 |P' |)を類似度として識別する



相互部分空間法

入力部分空間 P と辞書部分空間 Q のなす正準角度 θ に基づいて識別する（前田, 渡辺, 1985）

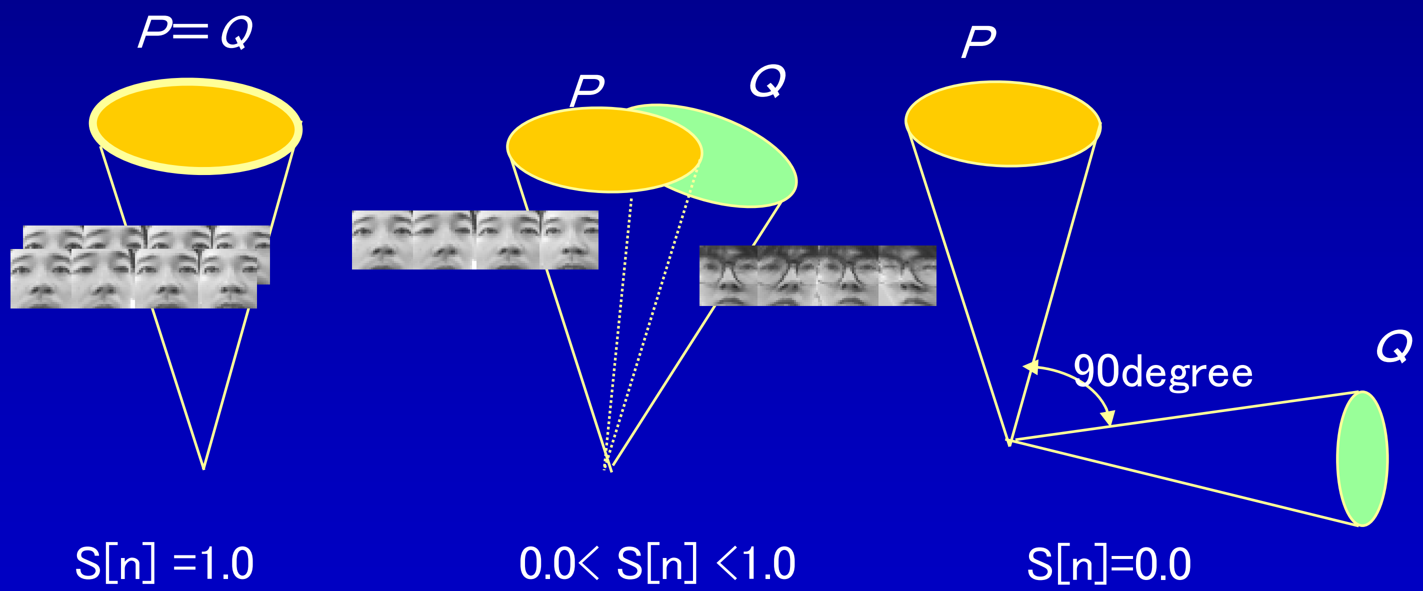


部分空間の構造を反映した類似度

$$\text{類似度}\ S[n] = \sum_{i=1}^{n} \frac{\lambda i}{n}$$

λ：固有値（＝ $\cos^2 \theta i$）

n ：部分空間の次元



類似度 *S* は部分空間の構造的な類似性を反映

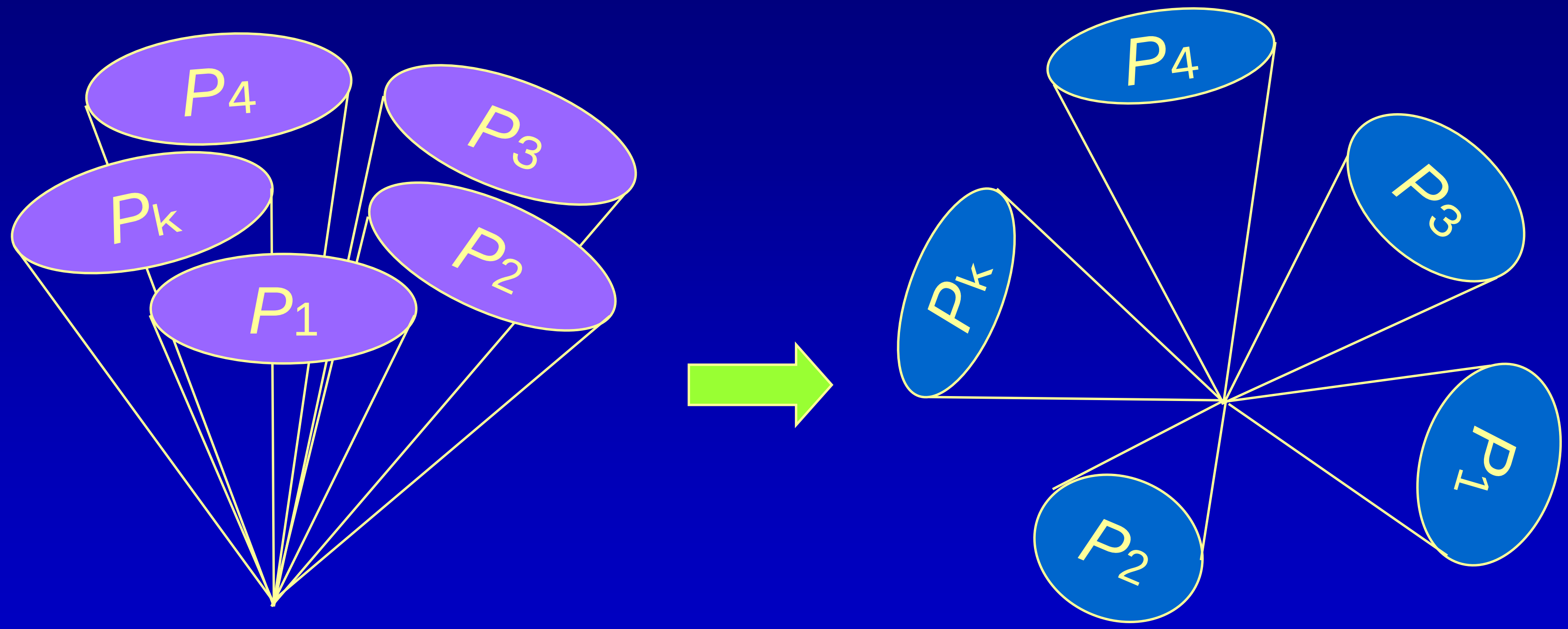
識別能力の更なる改善

- **各クラス部分空間をお互いにできるだけ直交化**

様々な方法が提案されている．例えば，

- 学習部分空間法
  - 識別結果に基づいて各部分空間を回転
- 混合類似度法，相対KL変換法
  - 誤認識し易いパターンとの違いを識別に考慮
- 制約相互部分空間法
  - 制約部分空間への射影による直交化
- 直交相互部分空間法
  - 直交化行列を用いた線形変換による直交化

各クラス部分空間の直交化

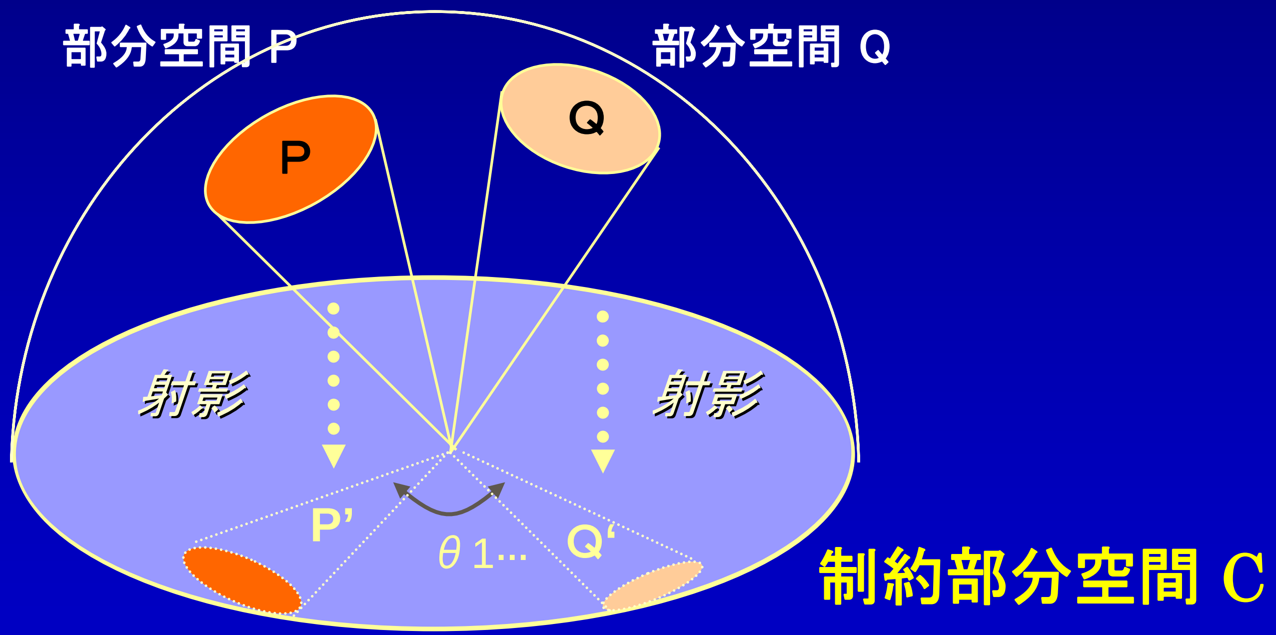


各クラス部分空間の成す正準角をできるだけ拡げたい

→ 直交状態に近づけたい

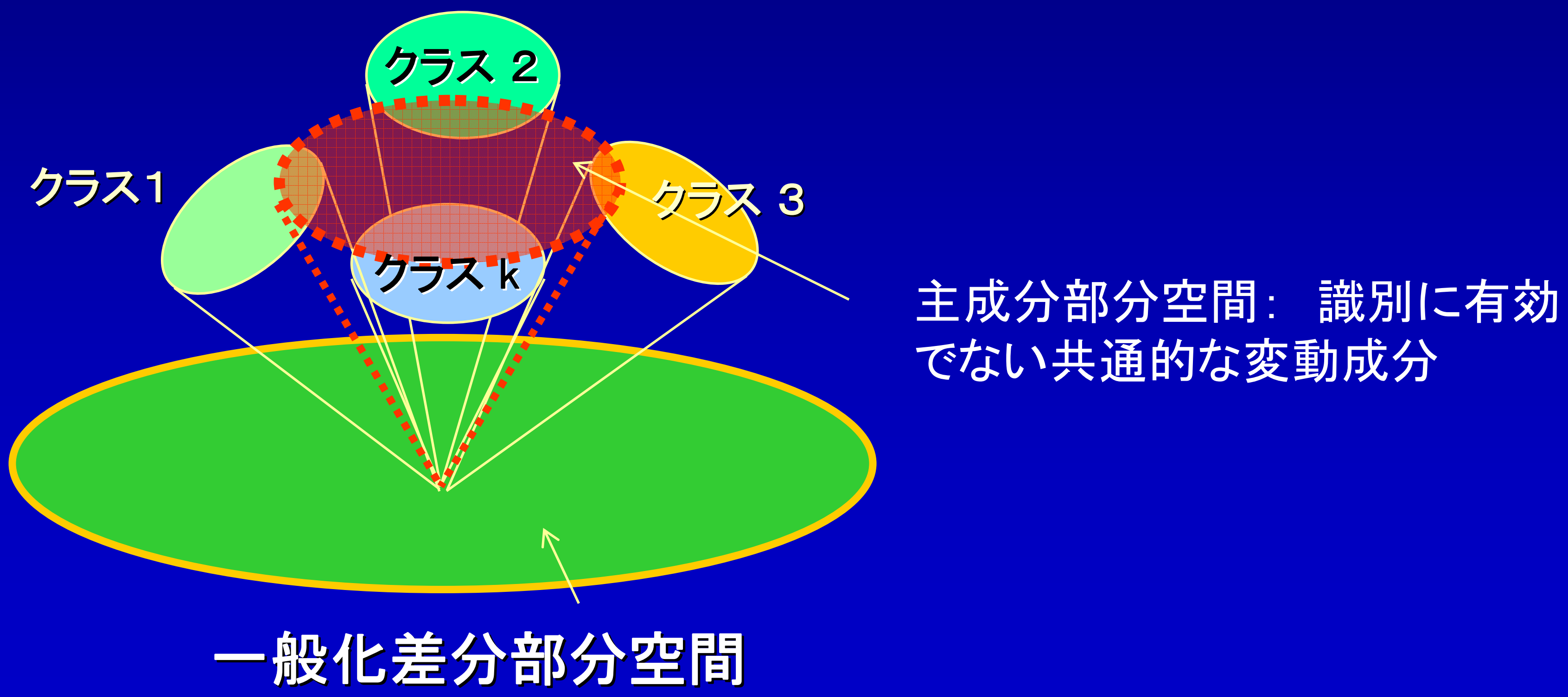
制約部分空間への射影

制約部分空間として，一般化差分部分空間を用いる

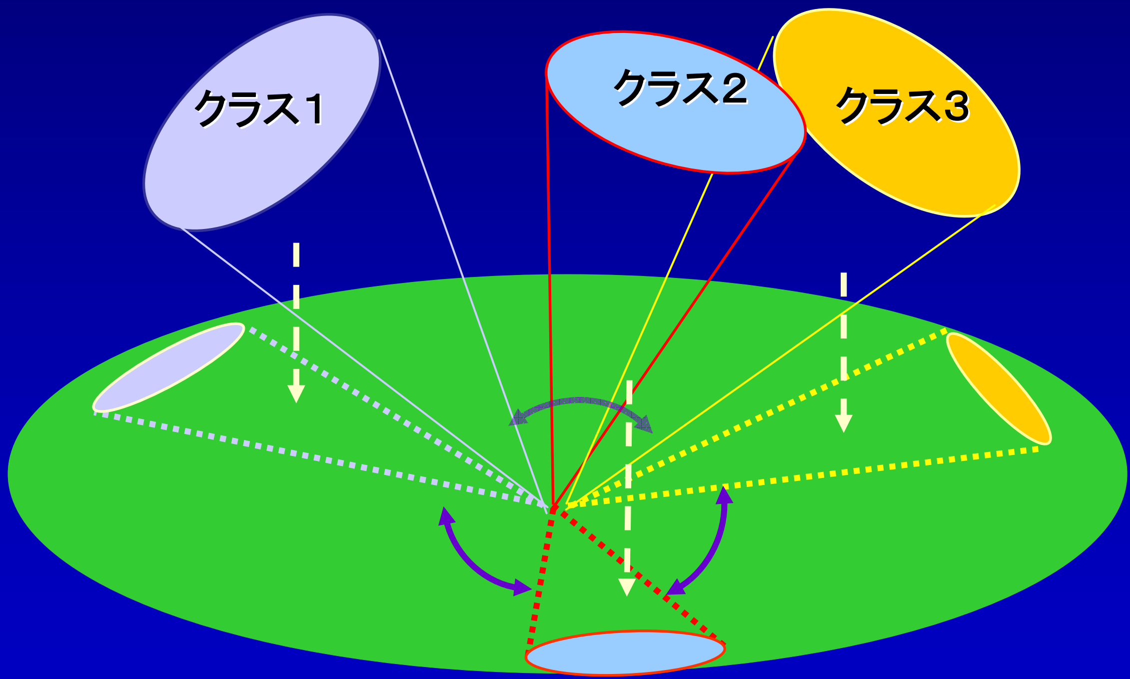


一般化差分部分空間の定義

一般化差分部分空間　＝　和空間　－　主成分部分空間



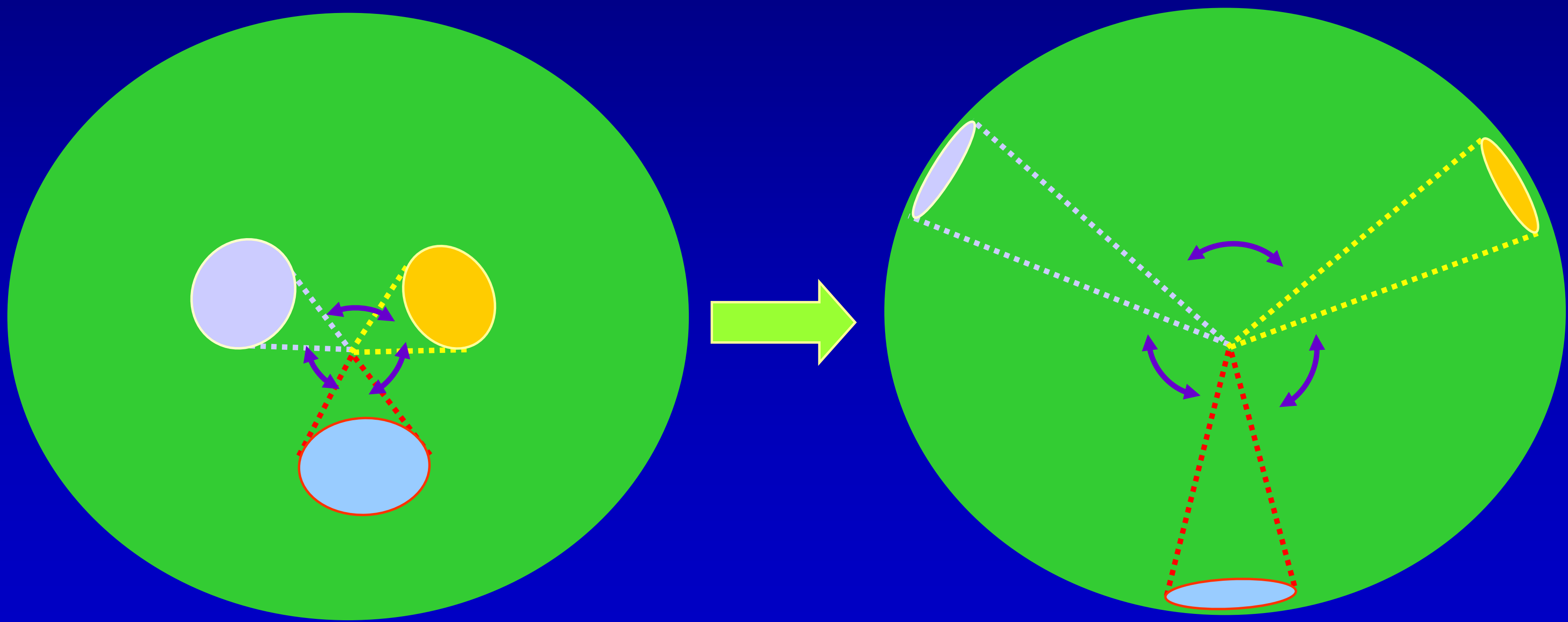
一般化差分部分空間への射影



射影部分空間同士の角度は拡がり，直交関係に近づく

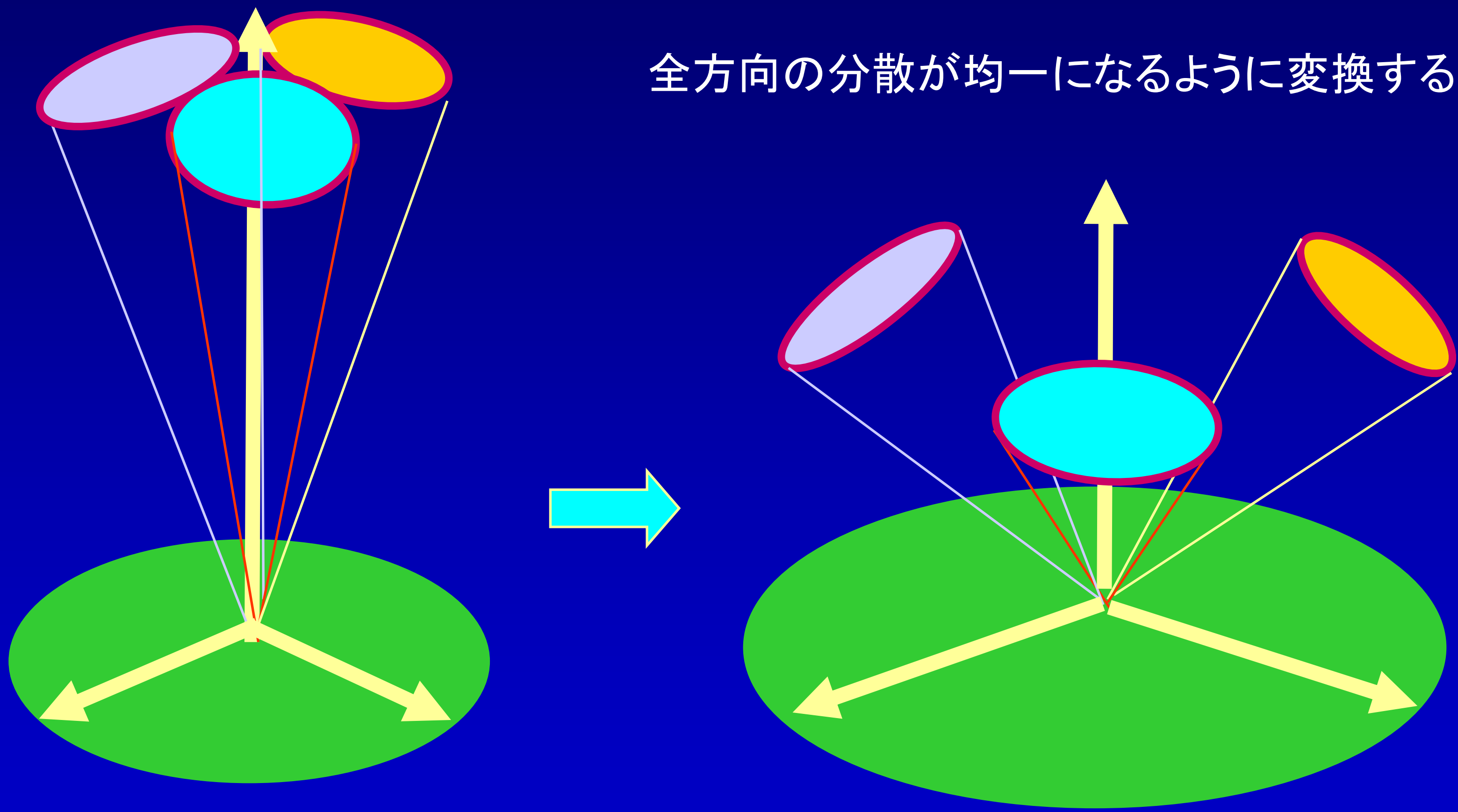
正準角が拡がる原理のイメージ

真上から見たとすると，



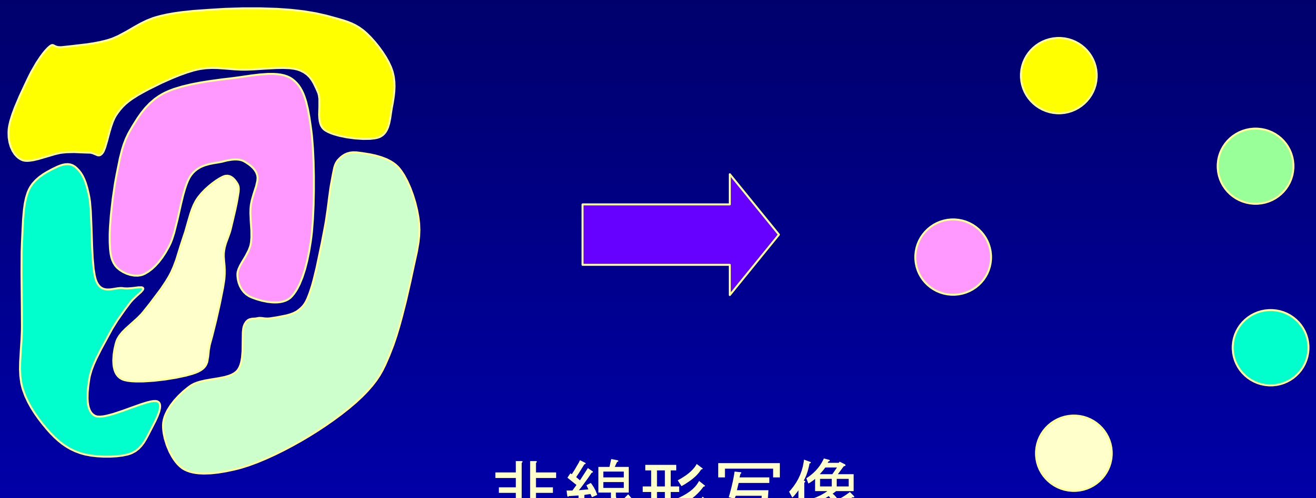
直交化行列による変換のイメージ

全方向の分散が均一になるように変換する

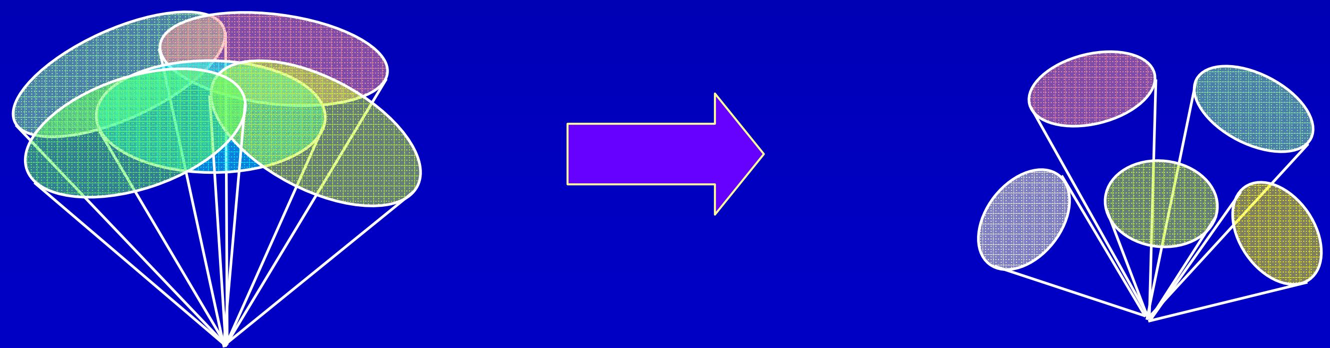


各クラスの自己相関行列から計算される行列により，直交化を実現する

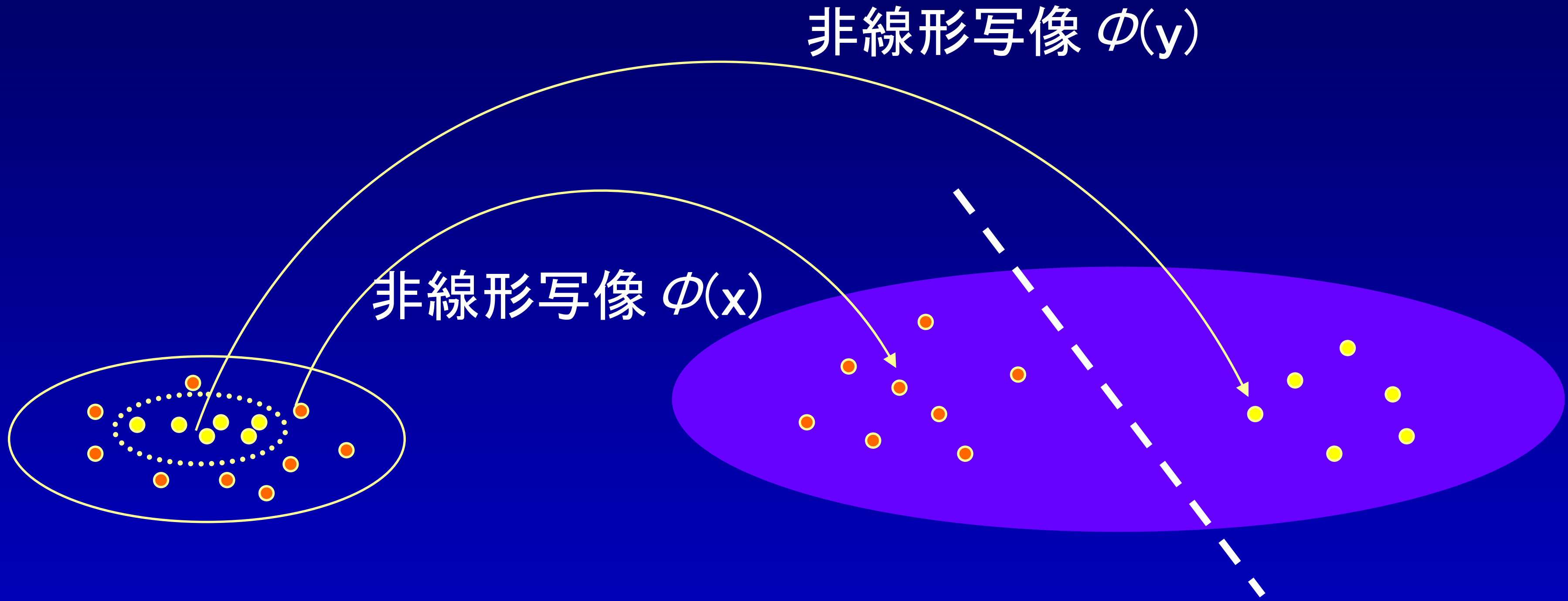
非線形性の強い問題



非線形写像



非線形写像の適用



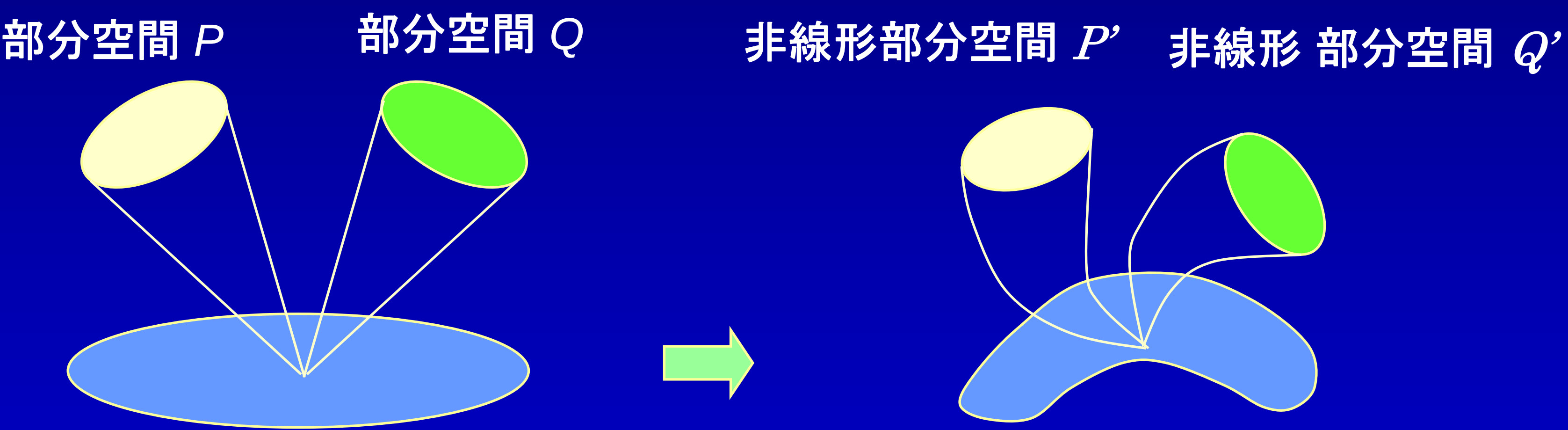
入力空間X

特徴空間 F
超高次元空間（無限次元）

非線形部分空間の導入

- 線形部分空間の表現能力には限界あり
- カーネル非線形主成分分析(PCA)により非線形部分空間を生成

カーネルPCA（B. Scholopf, A. Smoa, K-R. Muller 1998）



線形部分空間法(SM)

線形相互部分空間法(MSM)

線形制約相互部分空間法(CMSM)

線形直交相互部分空間法(OMSM)
(河原ら, 2005）

非線形部分空間法(KSM) (前田ら，津田，1999)

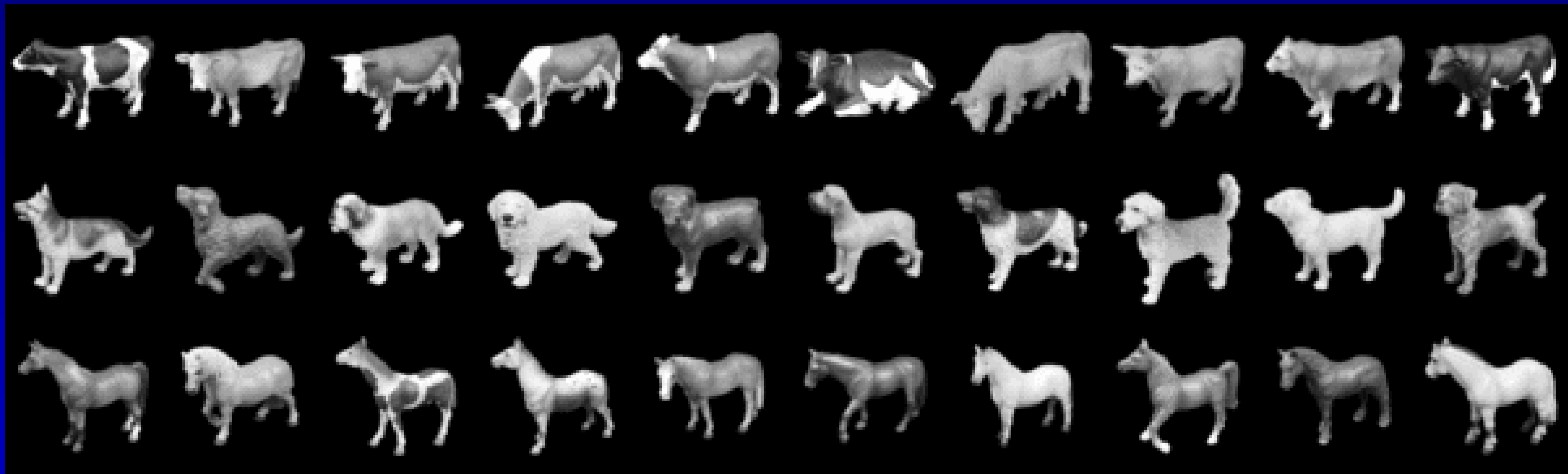
非線形相互部分空間法(KMSM)(坂野ら,2001)

非線形制約相互部分空間法(KCMSM)

非線形直交相互部分空間法(KOMSM)

３次元物体認識（実験１）

公開データベース：ETH－８０を使用



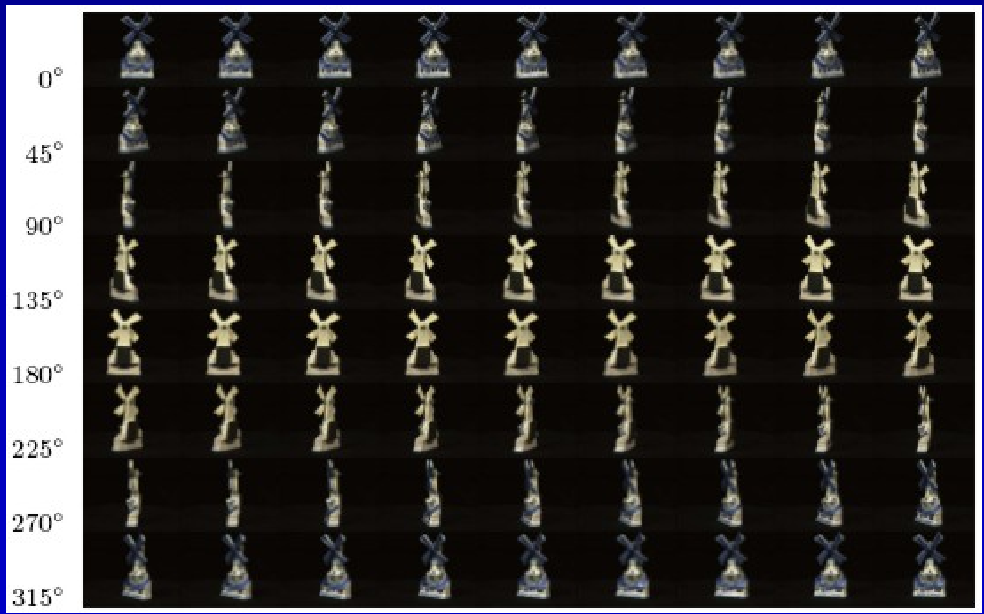
各方法の識別率(%)

		S[1]	S[2]	S[3]	S[4]
	MSM	72.7	73.7	**76.3**	74.3
	CMSM-215	75.7	**81.3**	76.3	73.7
Linear	CMSM-200	73.3	81.0	79.3	77.7
	CMSM-190	71.0	73.0	73.0	75.0
	KMSM	84.7	87.0	82.0	81.7
	KCMSM-550	83.0	85.3	85.7	86.3
	KCMSM-500	79.3	85.0	87.0	87.0
	KCMSM-450	82.0	88.0	89.3	**89.7**
Nonlinear	KCMSM-400	83.3	87.7	88.3	89.7
	KCMSM-300	81.0	87.7	88.7	89.0
	KCMSM-200	81.7	81.7	83.3	83.3
	KCMSM-100	57.7	62.7	68.0	65.3
	KOMSM	85.3	87.3	88.0	88.0

注：上記結果はベクトル長を正規化した場合，正規化しないと全体方式で更に性能向上する

Amsterdam Library of Object Images (ALOI)

- 72 views/object



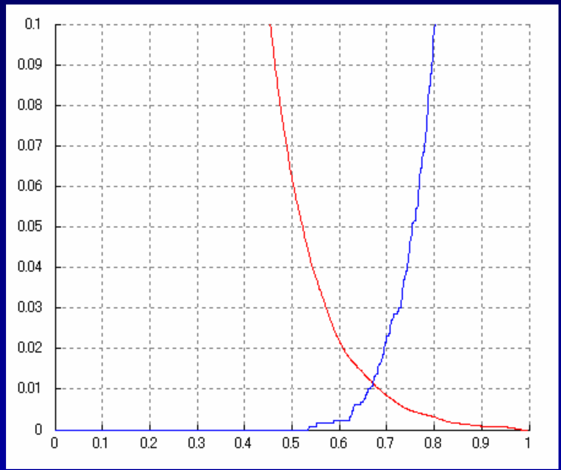
実験結果（ALOI）

- 50物体
- 学習部分空間50×20次元
- カーネル行列K：1000×1000次元

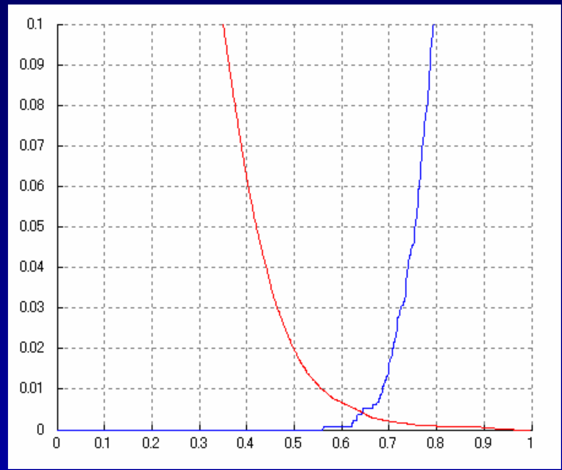
Methods	MSM	CMSM	OMSM	KMSM	KCMSM	KOMSM
Sep.	0.348	0.435	0.544	0.926	0.962	0.972
ERR	11.0	4.5	4.0	2.0	1.0	1.0

注：識別率は全ての方法で100%

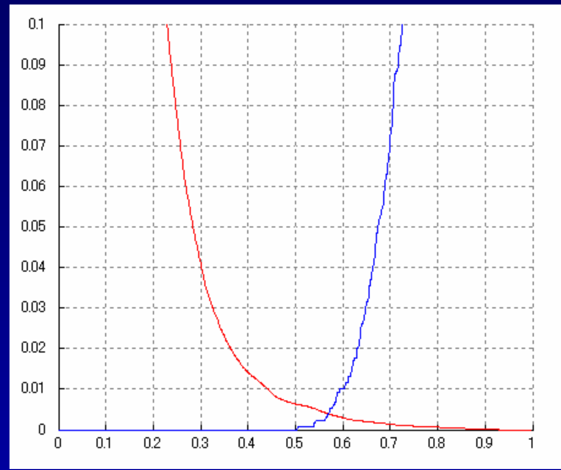
各方法のFAR-FRR曲線（拡大図）



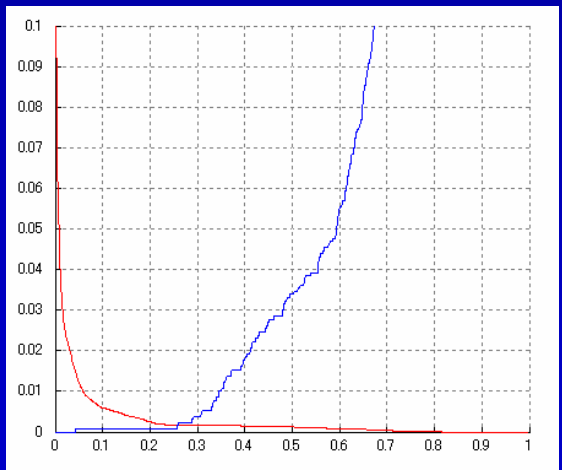
MSM



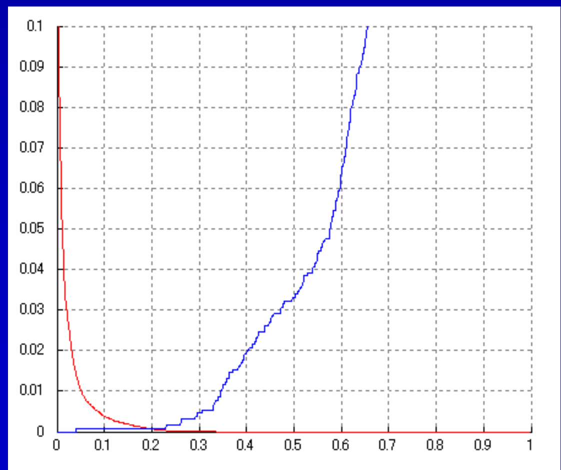
CMSM



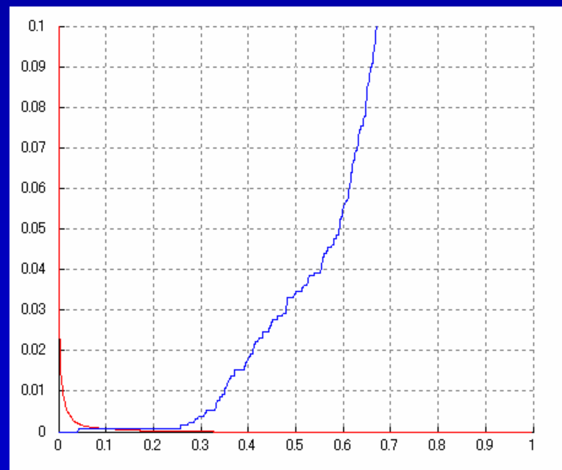
OMSM



KMSM



KCMSM



KOMSM

顔画像認識（実験2）

評価：50人，照明条件10種類
異なる照明条件間で総当り

データ次元： 210（微分処理）
学習データ： 7次元 （照明条件1-10）
評価データ： 7次元 （照明条件1-10）

- カーネル関数はガウス関数 $\sigma = 1.0$
- 学習に用いた非線形部分空間
  - 次元数：60
  - 評価人物とは別の25人分（10種類の照明条件を含む）
- 非線形一般化差分部分空間の次元数：1100次元

実験結果

	MSM	CMSM	OMSM	KMSM	KCMSM	KOMSM
識別率 %	91.74	91.30	97.09	91.15	97.40	97.42
EER	12.0	7.5	6.3	11.0	4.3	3.5

MSM: 相互部分空間法

CMSM: 制約相互部分空間法

OMSM: 直交相互部分空間法

KMSM: 核非線形相互部分空間法

KCMSM: 非線形制約相互部分空間法

KOMSM: 非線形直交部分空間法

他分野との関連

- 多変量解析
  - 正準相関分析
- ３次元復元
  - 因子分解法
- 制御理論
  - 部分空間同定

まとめ

- 一連の部分空間法の拡張を正準角なる概念に基づいて統一的に述べた.
- 各クラス部分空間を直交化するという観点から識別性能を改善する方法を述べた.
- カーネルトリックを用いた非線形識別への理論拡張を述べた.
- 幾つかの実験結果により，一連の部分空間法ベースの方法が画像認識に有効であることを示した.