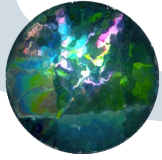


望遠鏡制御関係現状報告

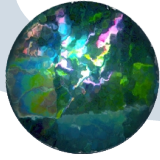
ナノオプトニクス・エナジー
ナノオプトニクス研究所
下農 淳司



概要

現状報告3点

- 分割主鏡制御シミュレーション
- 分割主鏡制御系ハードウェア量産
- 望遠鏡制御系システム設計



分割主鏡制御シミュレーション

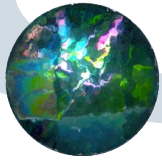
目的

開発段階での利用

- ・ 分割主鏡の位相あわせ時の振る舞いを把握
- ・ ギャップセンサー配置などへのフィードバック
- ・ 制御アルゴリズム開発用データ収集

運用段階での利用

- ・ ソフトウェア更新時の実運用前試験ベンチ

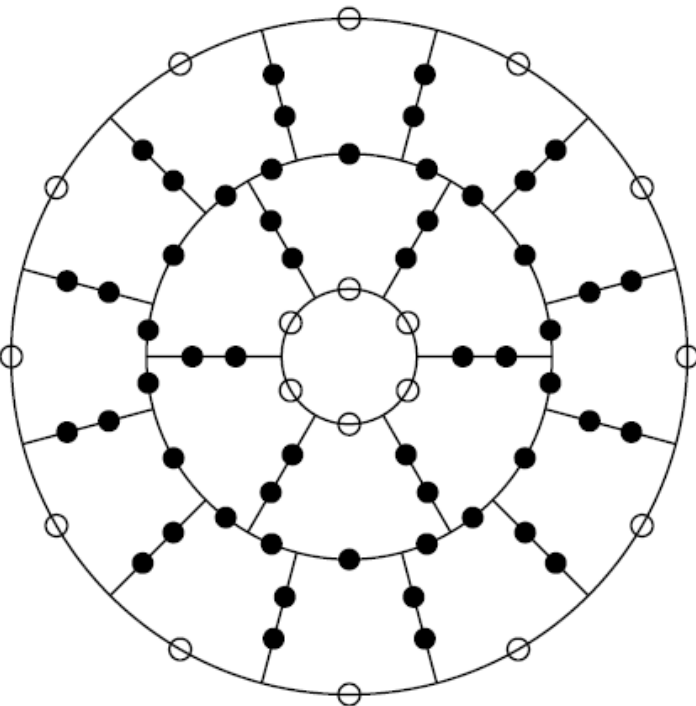


分割主鏡制御 - 数学モデル

アクチュエーター駆動量とセンサー読み値の関係は、行列変換で表すことができる

- ・ 行列は機械的配置で決まる

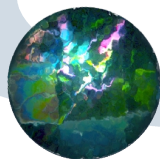
● Inter-Segment Gap Sensor
○ Segment-Fixed Gap Sensor



行列の特徴は

- ・ 正方行列でない
- ・ 非常に疎行列

=> 行列の特異値分解(SVD)を利用して特徴抽出する



分割主鏡制御 - 特異ベクトルの例

行列の解析 => 特異値・特異ベクトルが判明

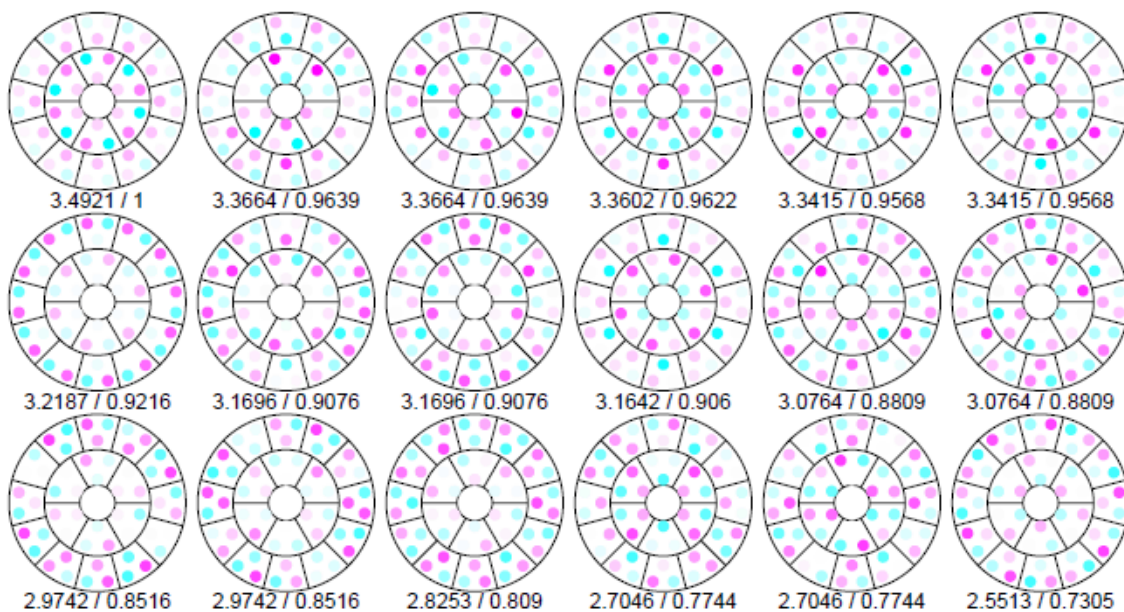
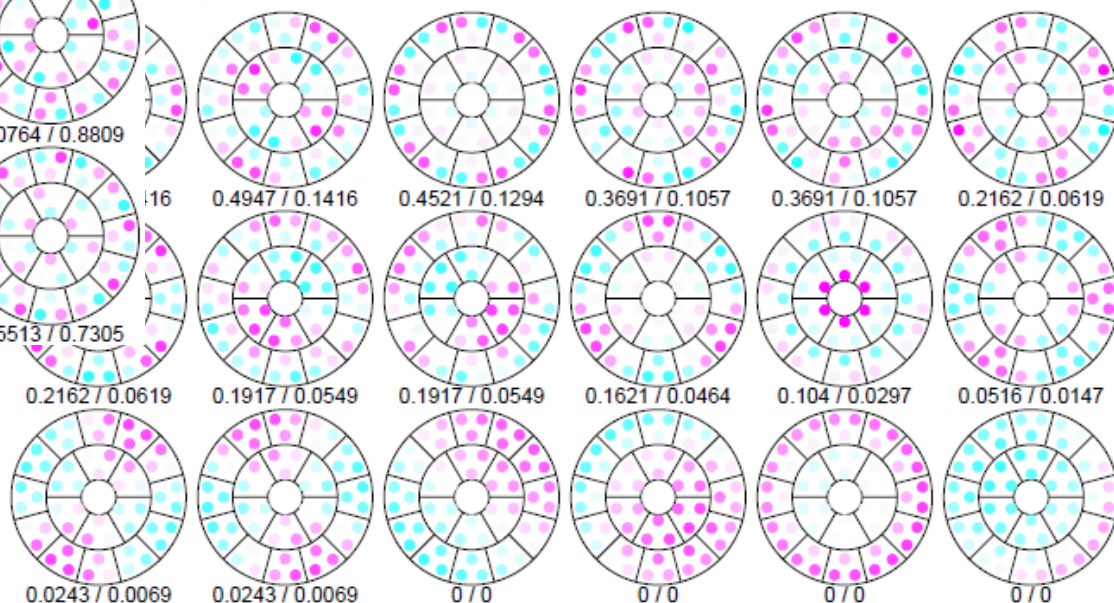
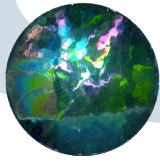


図: 支持点移動量による特異ベクトルの表示 (の一部)
数字: 対応する特異値



全体がゆるく変形するモードが縮退しやすい



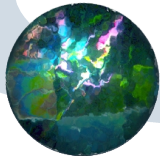
分割主鏡制御 – 期待する成果

シミュレーターでわかること

- ・ 入力・出力データに対する系の反応
- ・ ある配置に対するパフォーマンス
特異値(固有値)分布、特異ベクトル分布

望ましいといえる値・分布は？

- ・ 縮退している特異値をなくす
対応特異ベクトルのモードは制御不能
- ・ 特異値の分布にムラがないようにする
小さい特異値のモードは制御しにくい



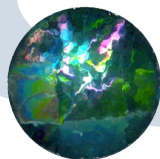
分割主鏡制御 – 現状と今後

ギャップセンサー配置への示唆 (現状)

- ・ 同一接辺上のセンサーは離すほうがよい
- ・ 内周・外周の屈曲も判別可能
センサーをセグメント端でなく内側に配置

今後の課題

- ・ より安定に制御できるような配置の調査
特異値の縮退をなくすための制約条件
必要なセンサー数、その他の機構
- ・ ノイズを与えた時の振る舞いの検証

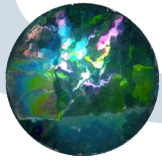


分割主鏡制御系ハードウェア量産

セグメント18枚、制御点(アクチュエーター54本)
=> 量産体制をとらないと製造できない

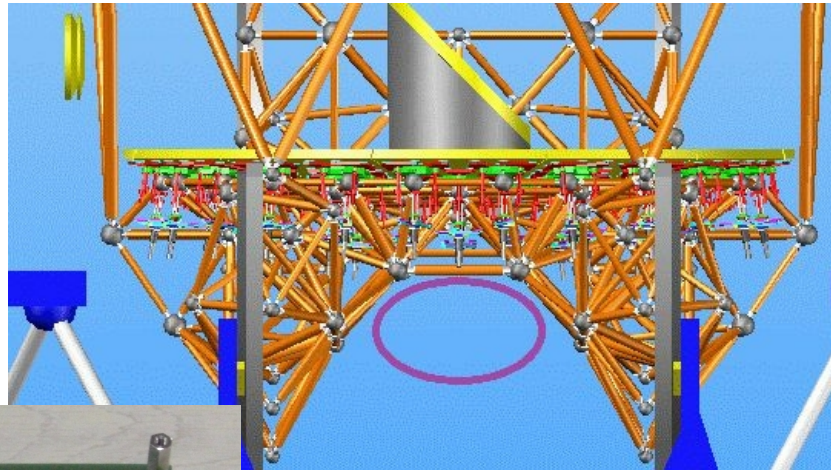
重要視する項目は

- 安定した品質の実現とメンテナンス性
- (特に制御箱の外での)取り扱いの容易さ
- 制御ボードのピン配列変換は専用基盤製作
- 制御箱同士の接続は市販ケーブルにする



分割主鏡制御系 - 現状

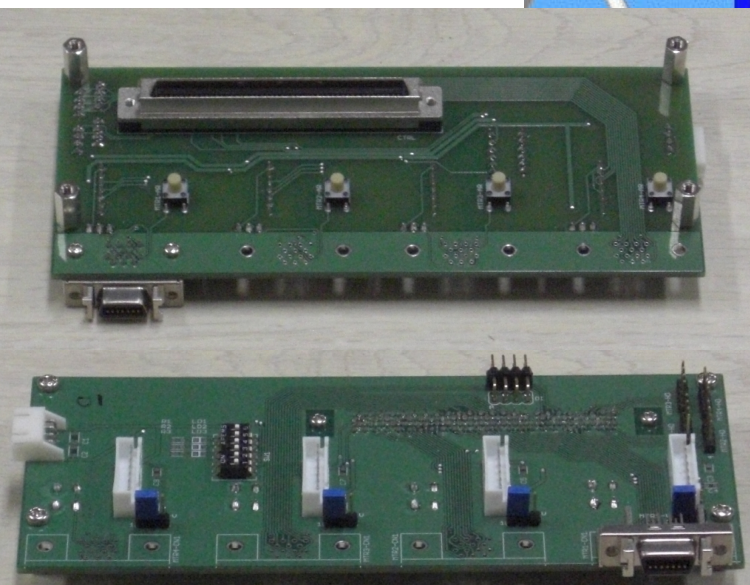
アクチュエーター制御系を試験中

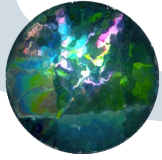


↑ 紫部分に
制御箱を配置

ドライバ18個格納の制御箱 ↑

← 制御ボード(モーター4つ分)の分割





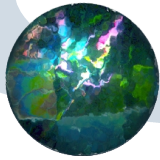
望遠鏡制御システムの設計

概念設計・基礎調査を行っている段階

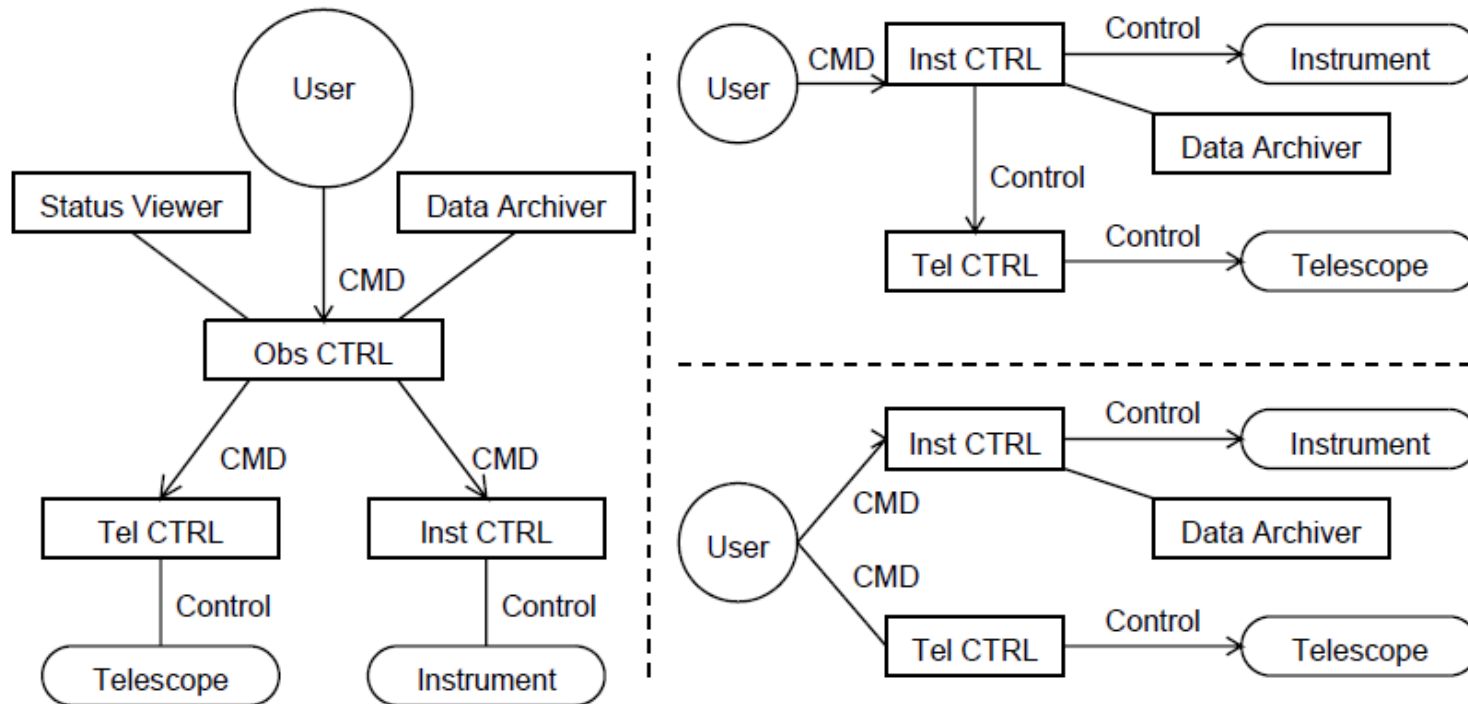
- ・ 望遠鏡・観測装置の全体制御方式
- ・ 制御用の共通フレームワーク

これに必要なものとして

- ・ 同じ制御方式の既存望遠鏡の实地調査
 - ・ 必要とされるライブラリの構築
- を進行中

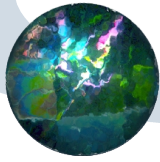


望遠鏡制御システム - 観測装置連携

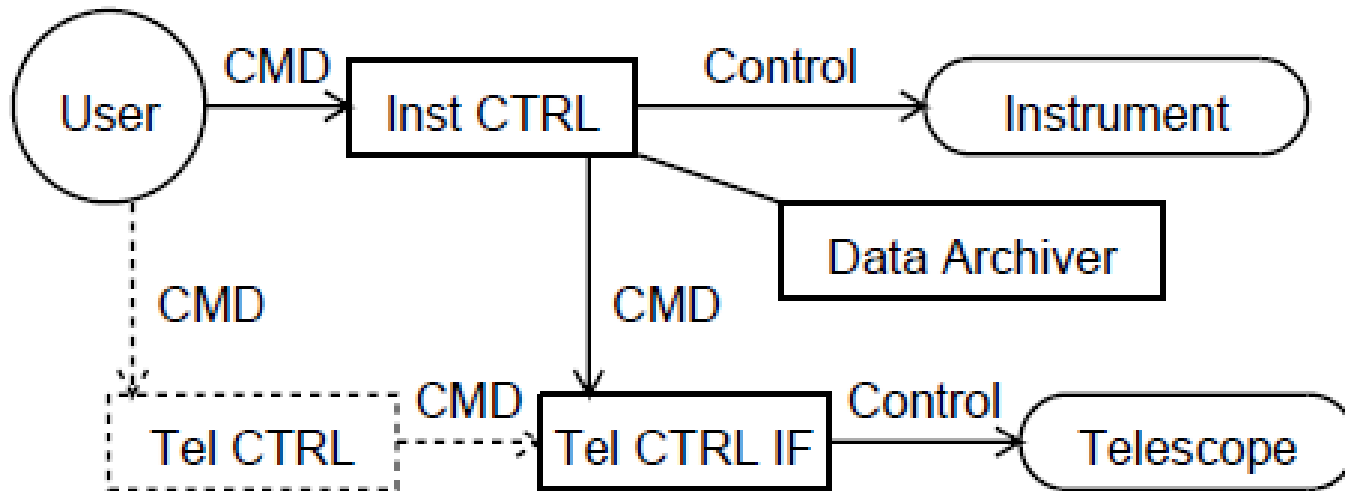


既存の例

左: すばるなど / 全体統合制御システムが存在
右上: IRSFなど / 観測装置が制御マスター
右下: UH88など / すべてが独立

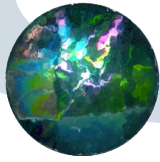


望遠鏡制御システム - 観測装置連携



現状の案

- なるべく観測装置システムの負担を減らす
- 内部的には単機能モジュール構成を採用する
- GRBのような突発現象観測への対応も考慮する



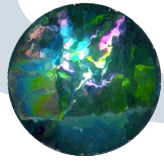
望遠鏡制御システム - ライブラリ構築

共通フレームワークとなる簡単なライブラリを

- CORBAのような複雑な機構は入れたくない
そもそも使いこなせる人が、、、
- 望遠鏡・装置の両方で利用可能なものを

機能の案

- リモート・ローカルが等価なステータスサーバ
- シーケンスつきコマンドディスパッチャー
- CUI用補助関数
- ログサーバ (RDBでなくKVSを利用？)
BigtableやTokyo Tyrantとか

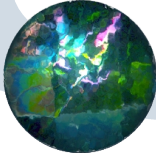


Any Questions?

開発段階のレポートはこちら

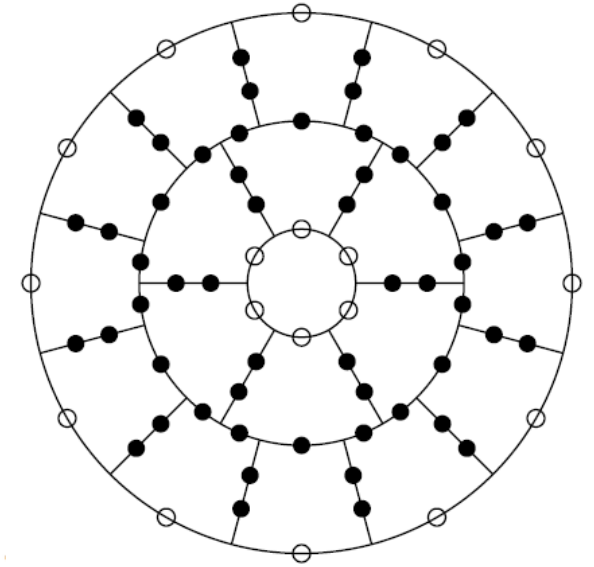
<http://www.kusastro.kyoto-u.ac.jp/~shimono/Kyoto3m/>

図面など一部の資料以外は随時公開してます



分割主鏡制御 – 数学モデル

- Inter-Segment Gap Sensor
- Segment-Fixed Gap Sensor



アクチュエーター位置: $S_1^i(x_A, y_A)$ ギャップセンサーの取り付け位置を $G_A^i(x_A^i, y_A^i, 0)$

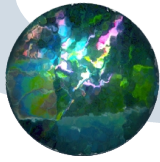
$$\begin{pmatrix} z_A^i \\ z_B^i \\ \vdots \\ z_N^i \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} S_1^i(x_A, y_A), & S_2^i(x_A, y_A), & S_3^i(x_A, y_A) \\ S_1^i(x_B, y_B), & S_2^i(x_B, y_B), & S_3^i(x_B, y_B) \\ \vdots & & \\ S_1^i(x_N, y_N), & S_2^i(x_N, y_N), & S_3^i(x_N, y_N) \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} z_1^i \\ z_2^i \\ z_3^i \end{pmatrix}$$

すべてのセグメントに対して $(z_A^1, z_B^1, \dots, z_N^1, \dots, z_A^{18}, z_B^{18}, \dots, z_N^{18})^t =$

$$\begin{pmatrix} S_1^1(x_A, y_A), & S_2^1(x_A, y_A), & S_3^1(x_A, y_A), & \dots, & 0, & 0, & 0 \\ S_1^1(x_B, y_B), & S_2^1(x_B, y_B), & S_3^1(x_B, y_B), & \dots, & 0, & 0, & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots \\ S_1^1(x_N, y_N), & S_2^1(x_N, y_N), & S_3^1(x_N, y_N), & \dots, & 0, & 0, & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0, & 0, & 0, & \dots, & S_1^{18}(x_A, y_A), & S_2^{18}(x_A, y_A), & S_3^{18}(x_A, y_A) \\ 0, & 0, & 0, & \dots, & S_1^{18}(x_B, y_B), & S_2^{18}(x_B, y_B), & S_3^{18}(x_B, y_B) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0, & 0, & 0, & \dots, & S_1^{18}(x_N, y_N), & S_2^{18}(x_N, y_N), & S_3^{18}(x_N, y_N) \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} z_1^1 \\ z_2^1 \\ z_3^1 \\ \vdots \\ \vdots \\ z_1^{18} \\ z_2^{18} \\ z_3^{18} \end{pmatrix}$$

任意のギャップセンサーの読み $G_\alpha = z_\alpha^j - z_\beta^k$

$$= (S_1^j(x_\alpha, y_\alpha), S_2^j(x_\alpha, y_\alpha), S_3^j(x_\alpha, y_\alpha)) \cdot (z_1^j, z_2^j, z_3^j)^t - (S_1^k(x_\beta, y_\beta), S_2^k(x_\beta, y_\beta), S_3^k(x_\beta, y_\beta)) \cdot (z_1^k, z_2^k, z_3^k)^t$$



分割主鏡制御 – 数学モデル

アクチュエーター駆動量とセンサー読み値の関係は、行列変換で表すことができる

- ・ 行列は機械的配置で決まる

固有値 $\sigma_1^2, \dots, \sigma_n^2$ に対応する右特異ベクトルを $\mathbf{v}_1, \dots, \mathbf{v}_n$ 、左特異ベクトルを $\mathbf{u}_1, \dots, \mathbf{u}_n$ とする。

$$\mathbf{A}\mathbf{v}_i = \sigma_i\mathbf{u}_i, \quad \mathbf{A}^*\mathbf{u}_i = \sigma_i\mathbf{v}_i \text{ が成立}$$

$$\mathbf{A}(\mathbf{v}_1^T, \mathbf{v}_2^T \dots, \mathbf{v}_n^T) = (\text{diag}(\sigma_i))(\mathbf{u}_1^T, \mathbf{u}_2^T \dots, \mathbf{u}_n^T)$$

$$\mathbf{V} = (\mathbf{v}_1^T, \mathbf{v}_2^T \dots, \mathbf{v}_n^T), \quad \mathbf{U} = (\mathbf{u}_1^T, \mathbf{u}_2^T \dots, \mathbf{u}_n^T) \text{ とすると}$$

$$\mathbf{A} = \mathbf{U} \cdot (\text{diag}(\sigma_i)) \cdot \mathbf{V}^T$$

$$\text{逆行列の表式} \quad \mathbf{A}^{-1} = \mathbf{V}(\text{diag}(\sigma_i^{-1}))\mathbf{U}^T$$

$$\mathbf{x} = \sum_{\forall i} \alpha_i \mathbf{v}_i \text{ であるなら} \quad \mathbf{A} \cdot \mathbf{x} = \mathbf{A} \sum_{\forall i} \alpha_i \mathbf{v}_i = \sum_{\forall i} \alpha_i \sigma_i \mathbf{u}_i$$

Eckart and Young による定理

$$\min_{Z|\text{rank}(Z)=k} \|\mathbf{A} - \mathbf{Z}\|_F = \|\mathbf{A} - \mathbf{A}_k\|_F = \sqrt{\sum_{i=k+1}^n \sigma_i^2}$$

Frobenius norm を最小化するのは最も大きな特異値から k 個を残し、残りすべてを 0 とした行列