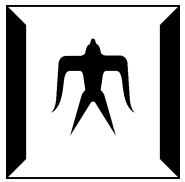
MATX (ver. 4.384)

リファレンス マニュアル



東京工業大学　古賀 雅伸

© Copyright 1989 – 1998 Masanobu KOGA
All Rights Reserved.

No part of this publication may be reproduced, transmitted, or translated, in any form or by any means, electronic, mechanical, manual, optical or otherwise, without prior permission of Masanobu Koga.

© 著作権　古賀 雅伸　1989 – 1998

本説明書の一部または全部を古賀雅伸の許可なく，複写，複製することは，その形態・手段を問わず禁じます。

目 次

第 1 章　はじめに **17**
1.1 プログラミング言語 MATX . . . 18
1.2 MATX の構造 . . . 20
1.3 プログラム作成手順 . . . 22
1.4 MATX の動作環境 . . . 24

第 2 章　プログラムの作り方とその実行方法 **27**
2.1 matx を用いたプログラムの実行 . . . 27
2.2 matx のオプション . . . 30
2.3 matc を用いた実行可能ファイルの作り方 . . . 30
2.4 matc のオプション . . . 32
2.5 コマンドライン履歴・編集 . . . 33
2.6 mated を用いた行列の入力・編集 . . . 34
2.7 matp を用いた行列の表示 . . . 35
2.8 C 言語インターフェース . . . 36

第 3 章　コマンドと便利な機能 **39**
3.1 画面に表示 . . . 39
3.2 キーボードからの入力と編集 . . . 39
3.3 入出力 . . . 39
3.4 登録関数の表示 (matx のみ) . . . 40
3.5 登録変数の表示 (matx のみ) . . . 40
3.6 変数の消去 . . . 41

3.7 変数の存在を調べる (matx のみ) . . . 41
3.8 環境変数の設定と取得 . . . 42
3.9 メニューを表示する . . . 42
3.10 OS のコマンドを実行する . . . 42
3.11 画面のクリア (matx のみ) . . . 43
3.12 ベル . . . 43
3.13 時間の計測 . . . 44
3.14 現在の日付と時間 . . . 44
3.15 警告 . . . 44
3.16 エラー停止 . . . 45
3.17 ヘルプ . . . 45
3.18 停止 . . . 46
3.19 終了 . . . 46
3.20 クラス変換 . . . 47
3.21 複数行に渡る式 (コマンドラインのみ) . . . 50
3.22 代入式 . . . 50
3.23 式の値を保存する変数 ans . . . 51
3.24 複素値 . . . 51
3.25 コメント . . . 52
3.26 プリプロセッサ . . . 53
3.26.1 ファイルの読み込み . . . 55
3.26.2 マクロ置換 . . . 56
3.26.3 条件つきコンパイル . . . 56
3.27 スタートアップファイル . . . 57
3.28 クイットファイル (matx のみ) . . . 58
3.29 バグ . . . 59

第 4 章　ファイル **61**
4.1 mm ファイル の読み込み (matx のみ) . . . 61
4.2 データのファイル入出力 . . . 62
4.2.1 行列データのファイル入出力 . . . 62

4.2.2 一般データのファイル入出力 . . . 63
4.2.3 バイナリデータのファイル入出力 . . . 63
4.2.4 一般データの保存と読み込み . . . 65
4.3 ファイル入出力 . . . 66
4.4 プロセスの終端の検出 . . . 67
4.5 プロセス間通信 . . . 67
4.6 ファイルのアクセス権を調べる . . . 68
4.7 ディレクトリを変更する . . . 69

第 5 章 行列エディタ (Matrix Editor) 71
5.1 実行列の編集 . . . 72
5.2 複素行列の編集 . . . 72
5.3 キーバインディング . . . 74
5.4 行列エディタ (mated) . . . 74

第 6 章 グラフィックス 77
6.1 gnuplot . . . 77
6.1.1 基本的なプロット . . . 78
6.1.2 複数の線 . . . 79
6.1.3 対数プロット . . . 81
6.1.4 1 個のウィンドウに複数のグラフ . . . 84
6.1.5 ウィンドウのクリアと消去 . . . 84
6.1.6 ラベル，タイトル，グリッド，テキスト，他のコマンド 86
6.1.7 (ポストスクリプト—FIG コード) ファイルに出力 . . . 88
6.1.8 Windows95/NT で mgplot を使う . . . 88
6.1.9 X ウィンドウを必要としないグラフィック表示 . . . 90
6.2 xplot . . . 90
6.2.1 基本的なプロット . . . 91
6.2.2 複数の線 . . . 92
6.2.3 対数プロット . . . 93
6.2.4 ウィンドウ・マネ– ジャ– の設定 . . . 93

第 7 章 変数 97
7.1 変数の宣言 . . . 97
7.2 通用範囲に関する規則 . . . 98
7.3 静的変数 . . . 99
7.4 暗黙の型変換 . . . 100

第 8 章 関数 103
8.1 関数の宣言 . . . 103
8.1.1 `require` 修飾子付き関数宣言 . . . 104
8.2 関数の定義 . . . 105
8.3 複数の値を返す関数 . . . 106
8.4 可変長引数関数 . . . 107
8.4.1 リストを利用した可変長引数関数 . . . 107
8.4.2 一般的な可変長引数関数 . . . 108
8.5 関数呼び出し (matx) . . . 109
8.6 関数の引数渡し . . . 109
8.7 return 文 . . . 110
8.8 関数の参照 . . . 111
8.9 コマンドラインの引数 . . . 111

第 9 章 制御の流れ 113
9.1 If-Else . . . 113
9.2 For ループ, While ループ . . . 114
9.3 Do-while ループ . . . 115
9.4 Switch 文 . . . 115
9.5 Break 文と Continue 文 . . . 116

第 10 章 整数と実数 117
10.1 整数定数 . . . 117
10.2 整数と実数の比較 . . . 118
10.3 整数関数 . . . 119

10.4 実数関数 120

第 11 章 複素数 125
11.1 複素数の記述方法 125
11.2 複素数の比較 126
11.3 複素数関数 126

第 12 章 文字列 129
12.1 文字列の成分の取り出し 129
12.2 文字列の成分の代入 129
12.3 文字列の比較 129
12.4 文字列から指定文字の位置を調べる 130
12.5 文字列の評価 (matx) 130
12.6 文字列への変換 132
12.7 文字列関数 133

第 13 章 多項式 135
13.1 多項式の記述方法 135
13.2 複素多項式 136
13.3 多項式の係数の参照 136
13.4 多項式の評価 137
13.5 多項式の微分と積分 138
13.6 多項式の係数のシフト 138
13.7 多項式の比較 138
13.8 多項式関数 139

第 14 章 有理多項式 141
14.1 有理多項式の記述方法 141
14.2 複素有理多項式 141
14.3 有理多項式の分子多項式と分母多項式 142
14.4 有理多項式の次数の増加 143
14.5 有理多項式の評価 143

14.6 有理多項式の微分 144
14.7 有理多項式の係数のシフト 145
14.8 有理多項式の比較 145
14.9 有理多項式関数 145

第 15 章 行列と配列と指数 147
15.1 行列の記述方法 148
15.1.1 行列成分の変換規則 148
15.1.2 行ベクトル 149
15.1.3 列ベクトル 150
15.1.4 行列 150
15.2 いろいろな行列 150
15.2.1 零行列 151
15.2.2 単位行列 151
15.2.3 1 で満たされた行列 152
15.2.4 等差数列配列 152
15.2.5 対角行列とブロック対角行列 153
15.2.6 複素行列 153
15.2.7 行列を成分とする行列 154
15.3 多項式行列 154
15.3.1 多項式行列の記述方法 154
15.3.2 多項式行列の評価 156
15.3.3 多項式行列の微分と積分 159
15.3.4 多項式行列の各要素の係数のシフト 159
15.4 有理多項式行列 160
15.4.1 有理多項式行列の記述方法 160
15.4.2 有理多項式行列の評価 162
15.4.3 有理多項式行列の微分 165
15.4.4 有理多項式行列の各要素の係数のシフト 165
15.4.5 有理多項式配列の分子配列と分母配列 166
15.5 行列成分の操作 166

15.5.1 成分の取り出し . . . 167
15.5.2 ブロック成分の取り出し . . . 167
15.5.3 式行列の成分の取り出し . . . 168
15.5.4 0-1 配列を用いた成分の操作 . . . 168
15.5.5 成分の代入 . . . 170
15.5.6 ブロック成分の代入 . . . 171
15.5.7 行列成分の削除 . . . 172
15.5.8 行列の大きさの変更 . . . 172
15.5.9 指数を用いた行列成分の操作 . . . 173
15.5.10 行列の配列 (ピース行列の利用) . . . 175
15.6 行列の比較と配列の比較 . . . 177
15.7 行列とスカラの演算 . . . 181
15.8 行列関数 . . . 182
15.9 配列関数 . . . 200

第 16 章 リスト **207**
16.1 リストの記述方法 . . . 207
16.2 リスト成分の参照と代入 . . . 208
16.3 リスト成分の付加 . . . 209
16.4 リストの合成と取り出し . . . 209
16.5 リスト関数 . . . 210

第 17 章 例題 **211**
17.1 連続系リカッティ方程式 . . . 212
17.2 離散系リカッティ方程式 . . . 214
17.3 線形システムの伝達関数行列 . . . 216
17.4 線形システムのボードとナイキスト周波数応答 . . . 218
17.5 連続系システムのシミュレーション . . . 220
17.5.1 状態フィードバック制御のシミュレーション (1) . . . 220
17.5.2 状態フィードバック制御のシミュレーション (2) . . . 223
17.5.3 動的フィードバック制御のシミュレーション . . . 225

17.5.4 複雑なシステムのシミュレーション . . . 230

謝辞 **233**

参 考 文 献 **234**

付 録 A データフォーマット **239**
A.1 MAT データフォーマット . . . 239
A.2 MX データフォーマット . . . 240

付 録 B メモリ管理 **249**
B.1 行列クラスのメモリ管理 . . . 249
B.2 メモリの状態遷移 . . . 251

付 録 C 演算 **257**
C.1 和 (Addition) . . . 259
C.2 差 (Subtraction) . . . 260
C.3 積 (Multiplication) . . . 261
C.4 スカラ倍 (Scalar Multiplication) . . . 261
C.5 逆 (Inverse) . . . 263
C.6 商 (Division) . . . 263
C.7 累乗 (Power) . . . 265
C.8 転置 (Transpose) . . . 266
C.9 複素共役転置 (Complex Conjugate Transpose) . . . 267
C.10 符合反転 (Negation) . . . 268
C.11 { ポスト, プリ }{ インクリメント, デクリメント } . . . 268
C.12 関係演算 (Relational Operation) . . . 269
C.13 論理演算 (Logical Operation) . . . 271

付 録 D リアルタイム処理 (RTMATX) **273**
D.1 リアルタイム処理 . . . 274
D.2 リアルタイム処理プログラムの作成 . . . 275

D.2.1 プロテクトモード RTMATX(DJGPP 版) 276
D.2.2 リアルモード RTMATX(Borland C 版) 277
D.3 動作環境 279
D.4 プログラムの動作 279
D.4.1 メイン関数 280
D.4.2 リアルタイム処理関数 281
D.4.3 画面表示 / コマンド入力ループ関数 282
D.4.4 実験装置のインターフェース関数 283
D.4.5 センサとアクチュエータのインターフェース関数 . . 284
D.4.6 入出力カード (D/A, カウンタ) のインターフェース関数287
D.5 メモリ管理 290
D.6 リアルタイム処理用関数 291
D.7 シミュレーションからリアルタイム処理へ 293
D.7.1 倒立振子の制御のシミュレーション 296
D.7.2 倒立振子のリアルタイム制御 298

付 録 E エラーメッセージ **299**
E.1 プログラムの解釈，コンパイル時のエラーメッセージ 299
E.1.1 コンパイル時のメッセージの説明 301
E.2 実行時のエラーメッセージ 307
E.2.1 matx の実行時のエラーメッセージ 307
E.2.2 matx の実行時のメッセージの説明 308
E.2.3 クラスライブラリのエラーメッセージ 310

索 引 **311**

表 目 次

1.1 MATX の動作環境 25

2.1 matx のオプション 31
2.2 matc のオプション 32
2.3 コマンドライン編集機能のキーバインディング 34
2.4 履歴の設定 34

3.1 メニューのキーバインディング 43

4.1 バイナリデータの型 64

5.1 mated のキーバインディング 75

6.1 グラフィック関数 1(gnuplot) 77
6.2 グラフィック関数 2(gnuplot) 80
6.3 グラフィック関数 3(gnuplot) 82
6.4 グラフィック関数 4(gnuplot) 83
6.5 グラフィック関数 5(gnuplot) 85
6.6 グラフィック関数 6(gnuplot) 85
6.7 グラフィック関数 7(gnuplot) 87
6.8 グラフィック関数 8(gnuplot) 89
6.9 グラフィック関数 9(gnuplot) 89
6.10 グラフィック関数 1(xplot) 91
6.11 グラフィック関数 2(xplot) 91

6.12 グラフィック関数 3(xplot) 93

C.1 演算子の優先度と結合規則 257

図 目 次

1.1 MATX の構造 20
1.2 MATX の内部処理 21
1.3 自動型変換規則 22
1.4 Matlab によるプログラム作成手順 23
1.5 MATX によるプログラム作成手順 23

5.1 行列エディタ (実行列) 72
5.2 行列エディタ (複素行列) 73
5.3 行列エディタ (実部行列) 73
5.4 行列エディタ (虚部行列) 74

17.1 制御対象とコントローラ 225
17.2 複雑なシステムのシミュレーション 230

B.1 MATX のメモリ管理 249
B.2 行列のメモリ管理 (1) 251
B.3 行列のメモリ管理 (2) 252
B.4 行列のメモリ管理 (3) 252
B.5 行列のメモリ管理 (4) 252
B.6 行列のメモリ管理 (5) 253
B.7 行列のメモリ管理 (6) 253
B.8 行列のメモリ管理 (7) 253
B.9 行列のメモリ管理 (8) 254

B.10 行列のメモリ管理 (9) 254
B.11 行列のメモリ管理 (10) 254
B.12 行列のメモリ管理 (11) 255
B.13 行列のメモリ管理 (12) 255

D.1 倒立振子制御系の実験装置 293

第1章　はじめに

MATX は科学や工学に必要な数値及び数式計算をサポートする記述性に優れたプログラミング言語である [9, 10]。MATX は数値解析，行列計算，数式処理を使い易い形に統合化しているので，ノート に書いた数学的表現をほとんどそのままプログラムとして記述できる。このためユーザは他の計算機言語 (Fortran，Pascal，C，Basic) でプログラムを記述するのに比べてずっと短い時間で多くの計算問題を解くことができる。インタラクティビティと (Fortran や C 言語の最適化されたライブラリの) パフォーマンスを結合したいユーザは，MATX の柔軟性と便利さを非常に重要なものと考えるでしょう。

システム理論や信号処理の研究において，多項式や有理式そしてそれらを成分としてもつ多項式行列や有理多項式行列などの数式表現は，重要な役割を果たす。MATX を使えば，これらのデータの定義や操作を自然な表現で記述することができる。これにより，システム理論に必須である数値行列のさまざまな演算や，多項式，有理多項式，などの数式の処理を理論中の表記とほとんど同じ形式で記述でき，制御系の解析・設計だけでなく，システム理論の新しい設計アルゴリズムの開発や検証などの支援にも役立つ。

システム理論，プロセス同定，制御系設計などの研究には，対話型処理が有効な場合と一括型処理が威力を発揮する場合がある。対話型処理系は，解析や設計のためにコマンドライン上でいろいろなコマンドを組み合わせて使うためだけでなく，プログラムを作成する場合，開発時間を大幅に節約するのに役立つ。一方，一括型処理系はプログラムが完成した後で，計算時間を短縮するのに役立つ。特に，シミュレーションのように計算量の多い処理は，一括型処理によって飛躍的に計算速度を向上させることができる。MATX は，対話型処理を行なうインタプリタ (matx) とコンパイラ (matc) を提供する。

行列の大きさが大きくなればなるほど，行列の入力・編集作業は難しくなる。入力中にちょっとした間違いを犯しても，もう一度最初からやり直さなければならないのは大変な苦痛である。行列エディタ (Matrix Editor) を使えば，そういった面倒な作業から解放される。行列エディタは，ウィンドウシステムやグラフィック端末上ではもちろん，**curses** がサポートする文字端末，エスケープシーケンスをサポートする文字端末で使用可能である。零行列や単位行列等の行列を簡単に入力することができ，実行列から複素行列への変換や行列の転置を簡単に行える。

MATX で生成したデータをグラフィック表示するには，gnuplot やグラフィック描画・編集環境 xplot を使う [19]。MATX の環境から直接 gnuplot や xplot を呼び出すことができ，1 次元プロット，2 次元プロット，片対数プロットなどを簡単に表示できる。

1.1　プログラミング言語 MATX

制御系の設計において外乱やプラントパラメータの変化に対する閉ループ系のシミュレーションを行なうことは重要であるので，制御系設計に計算機を使用することはシミュレーションから始まった。代表的なものに非線形システムのシミュレーションを行なうために開発された Simnon[1] がある。残念ながら Simnon は行列演算を効率良く記述することができなかった。制御系の解析・設計におけるベクトルや行列演算を簡単に行ないたいという要望から行列を基本データ構造とする言語 Matlab[13] や Matrixx[17] が生まれた。Matlab や Matrixx は，Linpack や Eispack 等の信頼性のある行列計算アルゴリズムを元に構築された行列演算言語であり，紙に書いた行列演算をほとんどそのままプログラムとして使用できるという記述性の良さから近年多く使用されるようになった。

MATX は行列の演算や成分の操作法について Cleve Moler らによって開発された Matlab 言語 [12, 13] といくつかの特徴的性質を共有している。しかしながら，Matlab はデータの型を「区別しない」言語であり，唯一のデータ型は行列であり，他の型のデータの演算や操作をするには，特別な演算子

を使うか関数を呼び出さなければならない。一方，MATX はデータの型を「区別した」言語である。データ型には，整数，実数，複素数，文字列，多項式，有理多項式，行列，配列，リストがあり，行列，配列，多項式，有理多項式，リストは次数指定を必要としない。

MATX は数値解析だけでなく数式処理も行なえ，方程式の解を求めたり，多項式や有理多項式の導関数や不定積分を計算できる。MATX の文法の根幹となる制御の流れや関数やプログラム構造は，C 言語から受け継がれている。C 言語は，PDP-11 上で Dennis M.Ritchie によって開発されたプログラミングである [7, 20, 8, 22]。MATX はすべて C 言語で記述されており，特に，構文解析部は構文解析部生成言語として有名な **yacc** を用いて作成されている [18, 21]。

Matlab は，インタプリタであるため Fortran や C で作成されたプログラムに比べて，複雑な計算の繰り返しなどに時間がかかる。そのため，Matlab は特別なインターフェースをもっていて，別にコンパイルしてリンクされた Fortran や C のルーチン (mex-files) を Matlab 環境から普通の m-file のように呼び出すことができる。m-file によるアルゴリズムの実現の速度が十分でない時に，この機能は有効である。しかしながら，mex-file の作成は簡単な作業ではなく，Matlab と Fortran の間で関数のパラメータを交換するための特別な gateway function を書かなければならない。

MATX は対話型処理を行なうインタプリタだけでなく，コンパイラも提供している。インタプリタを matx，コンパイラを matc と呼ぶ。パッケージ全体を表す時は MATX と書いてインタプリタ (matx) と区別する。コンパイラ (matc) は，インタプリタ (matx) と同じプログラムを処理することができ，与えられたプログラムから移植性の良い C 言語のコードを生成する。プログラムを拡張するためには，アルゴリズムを **mm** ファイルの中に関数として実現する。この過程は，matx を使って対話的に途中経過をチェックしながら行なえる。関数が完成した後，matc を使ってコンパイルし，実行プログラムを作ることができる。C 言語のファイルを matc の出力コードにリンクすることによって，C 言語の関数を MATX の関数から簡単に呼び出すことができる。このおかげで，既存の膨大な C 言語のルーティンを利用するこ

とができ，計算速度が上がり，メモリ効率を良く使用できる。

1.2 MATX の構造

MATX の構造を図 1.1 に示す。現在，MATX は 3 つユーザ・インターフェース・ツール (インタプリタ matx，コンパイラ matc，行列エディタ mated) を持っている。これらのツールは，クラスライブラリ **MaTX-Lib** を使って作成されている。MaTX-Lib は，複素数クラス，多項式クラス，有理多項式クラス，行列クラス，リストクラスの C 言語のクラス・ライブラリの集合である。

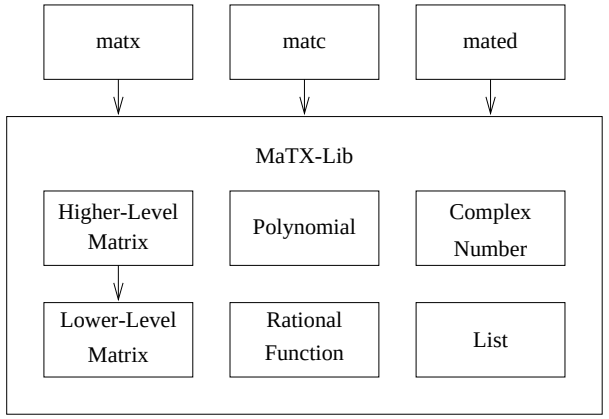


図 1.1: MATX の構造

特に，行列クラス・ライブラリは，高レベル・ライブラリと低レベル・ライブラリから構成される。低レベル・ライブラリは，約 300 個の関数から構成される。データの高速アクセスを目的としているので，データのチェック等を行なわないため，使用には注意が必要である。データの演算とメモリ効率を高めるための最適化もこのライブラリで行なわれている。高レベル・ライブラリは，低レベル・ライブラリの上に作られ，約 200 個の関数から構成される。高レベル・ライブラリの目的は，データの抽象化を行なうユーザ・イ

ンタフェースを提供することである。データの保存に必要なメモリ領域を管理し，データの属性に応じて適当な低レベル・ライブラリの関数を呼び出す。

制御系の CAD が開発されるにつれ，制御系設計アルゴリズムの計算を数値的に安定に行なうことの重要性が認識され，多くの数値的に安定なアルゴリズムが提案された [11]。最適レギュレータやオブザーバなどの線形制御理論を中心とする制御系の解析・設計に必須である LU 分解，QR 分解，QZ 分解，固有値問題，一般固有値問題，等の行列演算を数値的に安定に行なうアルゴリズムをまとめたものに Linpack[2] や Eispack [4, 15] がある。 これらのパッケージは，Fortran で記述されており，簡単に入手できるので，多くの制御系 CAD の内部で利用されている [13, 17]。MATX は，Eispack に含まれるルーチンのうち固有値問題と一般固有値問題のルーチンを C 言語で書き直したものを使用している。

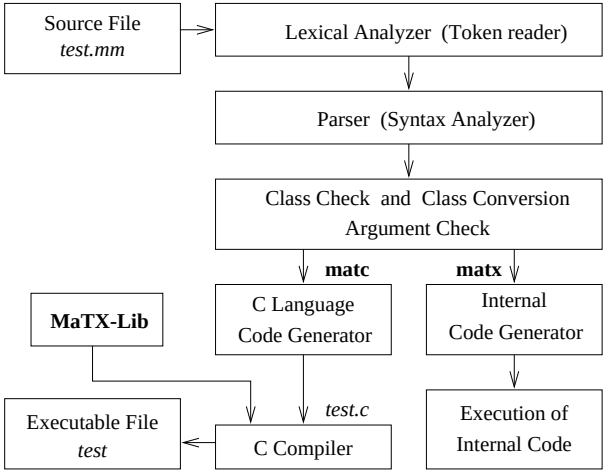


図 1.2: MATX の内部処理

図 1.2 は，MATX の内部処理を示している。MATX 言語で書かれたソースファイル (`test.mm`) を入力すると，入力文字列は，字句解析部によって MATX の認識する表現単位に分割される。分割された基本単位 (token) は，構文解析部に渡され，MATX の構文ルールにしたがって再構成される。ルー

ルが認識されると，対応するアクションが起動される。それぞれのアクションにおいて，データ型の不一致，不適当な引数の使用，初期化されていない変数の使用，等が検出される。

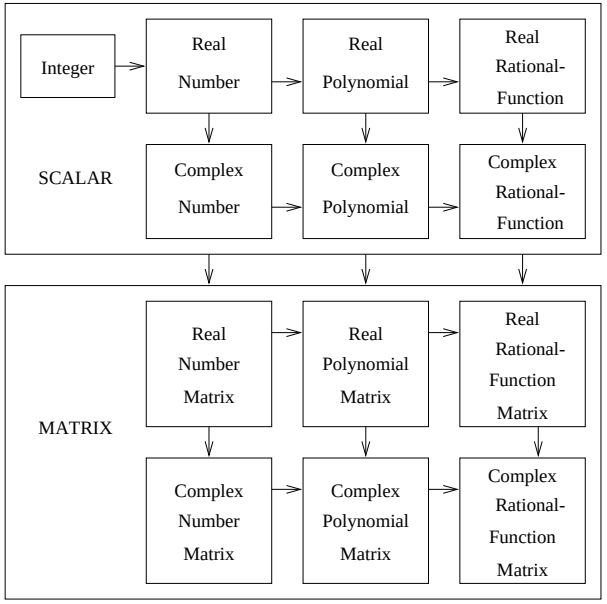


図 1.3: 自動型変換規則

型の異なるデータの演算においては，図 1.3 に示す “自動型変換規則” にしたがって，型変換が行なわれる。プログラムの多くの点ついての厳密なチェックが終ると，matc は，C 言語コード 生成部を呼びだし，matx は，内部コード 生成部を呼び出した後，生成されたコードを実行する。

1.3 プログラム作成手順

図 1.4 と図 1.5 は，Matlab と MATX のプログラムを作成する手順を示している。Matlab でプログラムを作成するには，ユーザは，仕様にしたがっ

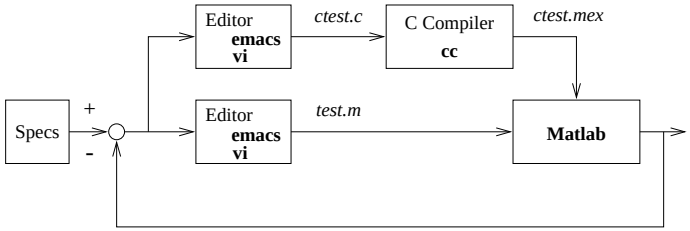


図 1.4: Matlab によるプログラム作成手順

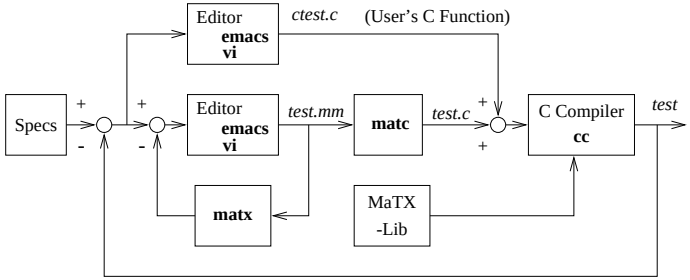


図 1.5: MATX によるプログラム作成手順

てアルゴリズムを m-file(`test.m`) の中に実現する。仕様を満たすまで m-file のテストと書き直しが繰り返される。C 言語や Fortran で書かれたファイル (`ctest.c`) をそれぞれの言語のコンパイラでコンパイルすれば (`ctest.mex`)，Matlab の関数から呼び出すことができる。

MATX でプログラムを作成するには，仕様にしたがってアルゴリズムをエディタ (vi, emacs) を使って mm ファイル (`test.mm`) の中に関数として実現する。インタープリタ (matx) を使えば，ファイル単位，関数単位，または行単位に会話的に mm ファイルをテストすることができる。動作確認の終った mm ファイルは，matc によって C 言語に変換される。C 言語のプログラム (`ctest.c`) を matc の出力コードにリンクすれば，MATX の関数から簡単に C 言語の関数を呼び出すことができる。全ての C 言語のファイルが完成し

た後は，C コンパイラによってコンパイルし，実行ライブラリ (`MaTX-Lib`) とリンクして実行プログラム (`test`) を作成する。最後に，実行ファイルを実行して全ての仕様が満たされているかチェックする。

1.4 MATX の動作環境

MATX は以下のコンピュータとオペレーティングシステムで動作する。

表 1.1: MATX の動作環境

コンピュータ	OS
CRAY C916/12256	Cray UNICOS
JP4 (PowerPC604)	JCC_BSD+ 1.0
NEWS5000X	NEWS-OS 4.2.1R
HP 9000/755	HP-UX
SGI Origin2000	IRIX6.4
Mips RC6280	UMIPS4.52C
Sun4	SunOS4.1.x, Solaris 2.5.x
Sun3	SunOS4.1.x
PC/AT 互換機	Linux (1.2.x, 2.0.x)
PC/AT 互換機	FreeBSD 2.1.x, FreeBSD 2.2.x
PC/AT 互換機	Solaris 2.5.1 x86
PC/AT 互換機	BSD/OS 2.0
PC/AT 互換機	BSD on Windows
PC/AT 互換機	Windows 95/NT, (Visual C++)
PC/AT 互換機	Windows 95/NT, (Watcom C/C++)
PC/AT 互換機	Windows 95/NT, (DJGPP 2.01)
PC/AT 互換機	DOS/V, (DJGPP 2.01)
PC9801(NEC)	DOS, (DJGPP 2.01)
X68000(SHARP)	Human68k (gcc + libc)

第2章　プログラムの作り方とその実行方法

プログラムをどのようにして作成して実行するかは，使うシステムに依存する。具体例として，UNIX オペレーティング・システムでのプログラムの作成方法と実行方法を示す。

2.1　matx を用いたプログラムの実行

インタプリタ matx を用いてプログラムを実行するには，少なくとも以下の 5 つの方法がある。

1. matx の引数にソースファイルを指定して実行すると，ソースファイルは指定された順番に解釈実行される。(この時，ソースファイルの拡張子 mm は省略できる。) すなわち，一番最後のファイルの最終行に実行したい関数名を “funcname();” のように追加すれば，その関数を実行することができる。

   [例] 最後のソースファイル sub3.mm の最終行に “main();” を追加して実行。

   ```
   % emacs sub3.mm
   % matx main.mm sub1.mm sub2.mm sub3.mm
   ```

2. matx の引数にオプション -e に続けて MATX のプログラムを書くと，

そのプログラムを実行できる。ファイルの最終行に実行したい関数名を書く代りに，“-e 'funcname()'” のようにコマンドラインに書ける。なお，オプション -e はコマンドラインの任意の場所で使える。

[例] 最後のソースファイル sub3.mm の最終行に “main();” を追加する代りに，コマンドラインに “-e 'main()'” と書く。

```
% matx main.mm sub1.mm sub2.mm sub3.mm -e 'main()'
```

3. matx は，引数に指定された全ソースファイルを解釈実行すると，すぐに終了するが，引数の最後に “-” があると，全ソースファイルを解釈した後，インタラクティブ・モードになり，プロンプトを表示する。つまり，インタラクティブ・モードになった後で実行したい関数名を “funcname();” と入力すれば，その関数を実行することができる。

   [例] 引数の最後の “-” を付けて実行し，インタラクティブ・モードで起動した後，“main();” と入力する。

   ```
   % matx main.mm sub1.mm sub2.mm sub3.mm -
   MaTX (1) main();
   ```

4. matx を引数なしで実行すると，インタラクティブ・モードで起動されプロンプトを表示するので，load 命令で mm ファイルを読み込んで，関数を実行することができる。(この時，ファイルの拡張子を省略すると mm となる。)

   [例] あらかじめ，ソースファイル sub3.mm の最終行に “main();” を追加しておく。matx を引数なしで実行し，インタラクティブ・モードで起動して，load 命令でソースファイルを読み込む。このとき，sub3.mm は，最後に読み込む。

```
% emacs sub3.mm
% matx

MaTX (1) load "main", "sub1", "sub2", "sub3"
```

5. 宣言だけされて定義されていない関数が呼び出されると，関数名と同じ mm ファイルが探索されて読み込まれるので，実行したい関数を宣言した後，“funcname();” と入力すれば，望みの関数を実行することができる。ただし，この機能を利用するには，関数名と mm ファイルのファイル名が一致していなければならない。

   [例] 実行したい関数 “main()” を宣言して，関数を直接呼び出す。

```
% emacs main.mm sub1.mm sub2.mm sub3.mm
% matx

MaTX (1) void main();
MaTX (2) main();
```

6. UNIX のシェルスクリプトや Perl のスクリプトと同じように、mm ファイルの先頭に “#! /usr/local/bin/matx” を追加して、ファイルに実行許可の属性を与えることによって、通常の UNIX のコマンドと同様に mm ファイルを実行させることができる。ただし、C プリプロセッサの機能を使うことができない。

   [例] 実行したい mm ファイルの先頭に “#! /usr/local/bin/matx” を追加して、実行許可の属性を与える。スクリプトの実行はコマンドラインから行なう。


```
#! /usr/local/bin/matx -nocpp

Func void main()
{
  Matrix a, b, c;

  read a, b;
  c = a + b;
  prnit a, b, c;
}

main();
```

```
% emacs mmtest
% chmod a+x mmtest
% ./mmtest
```

2.2　matx のオプション

matx のオプションを次の表に示す。Mathematica や Maple の出力コードのように 1 個の式がとても長いとき，-Np オプションでプログラムコードのサイズを大きくする必要がある。プログラムコードのデフォルトのサイズは 10000 ステップ (MS-DOS 版は 100000 ステップ) である。

2.3　matc を用いた実行可能ファイルの作り方

MATX のプログラムは C 言語のプログラムと同様に複数の関数から構成される。普通は，関数には自分の好きな名前を付けてもよいが，main は特別な名前である。コンパイラ (matc) を使って実行可能型ファイルを作成したとき，プログラムの実行は関数 main() の先頭から始まる。これは，プログラムにはどこかに関数 main() がなければならないことを意味する。 ただ

表 2.1: matx のオプション

オプション	機 能
-	標準入力 (キーボード) から入力する
--	標準入力から入力 (プロンプトなし)
-nocpp	C プリプロセッサによる処理を行なわない
-nolog	ログファイル MaTX.log を作らない
-nofep	コマンドライン編集機能を使わない
-nohist	履歴機能を使わない
-e 'stmt'	stmt を実行する
-Darg	arg を C プリプロセッサに渡す
-Npdddd	プログラムコードのサイズを dddd ステップとする

し，インタプリタ (matx) を使ってプログラムを実行するとき，プログラムのどこからでも実行を始めることができ，main() をプログラムの中に作る必要はない。

1. 拡張子 mm の MATX ソースファイル mmtest.mm をエディタで作成する。
2. ソースファイルをコマンド "matc mmtest" でコンパイルし，実行可能型ファイル mmtest(Windows の場合，mmtest.exe) 作成する。
3. 作成した実行可能型ファイル mmtest (Windows の場合，mmtest.exe) の名前をコマンドラインで入力する。

ソースファイルをコマンドラインで指定するとき，拡張子 mm を省略できる。オプション-nomm を指定すると，mm 以外の拡張子をもつファイルをコンパイルできる。実行可能型ファイルの名前は，引数として与えられた先頭のファイルのファイル名から拡張子を除いたものとなる。実行可能型ファイルの名前は "-o prog" のように指定できる。matc を引数なしで実行すると，インタラクティブ・モードで起動され，プロンプト "matc (1)" が表示される。このモードは，プログラムのデバッグに便利である。プログラムの実行

中にエラーが発見されると，エラーメッセージが画面に表示され，実行が中止される。詳しいエラー情報がログファイル MaTX.log に出力される。

[例] 4 つのソースファイルから実行可能型ファイル main を作成する。

```
% emacs main.mm sub1.mm sub2.mm sub3.mm
% matc main.mm sub1.mm sub2.mm sub3.mm
% main
```

2.4 matc のオプション

matc のオプションを次の表に示す。

表 2.2: matc のオプション

オプション	機 能
-mm	各ファイルに対し C コンパイルを行わず c ファイルを生成する
-c	各ファイルに対しリンクを行わず o ファイルを生成する
-v	バージョンと C コンパイラ呼び出し情報を表示する
-o prog	実行可能ファイルの名前を prog とする
-static	スタティックリンクを行う*
-nocpp	C プリプロセッサによる処理を行なわない
-nomm	mm 以外の拡張子をもつファイルをコンパイルする
-Darg	arg を C プリプロセッサに渡す
-Ncdddd	内部バッファの大きさを dddd バイトとする
-Npdddd	プログラムコードのサイズを dddd ステップとする

*　: このオプションは SunOS, Solaris でのみ有効。

Mathematica や Maple の出力コードのように 1 個の式がとても長いとき，-Nc オプションで内部バッファのサイズを大きく，-Np オプションでプログラムコードのサイズを大きくする必要がある。内部バッファのデフォルトのサイズは 50000 バイト (MS-DOS 版は 10000 バイト)，プログラムコードのデフォルトのサイズは 50000 ステップ (MS-DOS 版は 10000 ステップ) である。[例] 4 つのソースファイルから実行可能型ファイル main を作成する。mm ファイルから一旦 C ファイルやオブジェクトファイルを生成し，コンパイル，リンクする。

```
% emacs main.mm sub1.mm sub2.mm sub3.mm
% matc -mm main.mm sub1.mm          // main.c, sub1.c 生成
% matc -c sub2.mm sub3.mm           // sub2.o sub3.o 生成
% matc -c main.c sub1.c             // main.o sub1.o 生成
% matc main.o sub1.o sub2.o sub3.o
% main
```

2.5　コマンドライン履歴・編集

MATX はコマンドラインの編集機能や履歴機能を提供する。インタプリタ matx を対話的に使う場合，この機能を用いると入力編集がとても簡単に行なえる。

コマンドライン編集機能のキーバインディングを以下の表に示す。記号 ^ は，Ctrl キーを押しながら続く文字を同時に押すことを表す。例えば，^C は，Ctrl キーを押したまま C キーを同時に押すことを意味する。

matx の終了時に，履歴は作業ディレクトリのファイル (.matx_history) に保存され，起動時に自動的に読み込まれる。すなわち，前回のセッションの履歴を利用できる。-nohist オプションで履歴機能を無効にできる。また，コマンドラインの先頭で Ctrl+H を入力すると，全ての履歴が番号と共に表示される。!番号のようにすれば，履歴を直接利用できる。履歴の長さなどを設定する環境変数を表 2.4 に示す。

表 2.3: コマンドライン編集機能のキーバインディング

機能	キー 1	キー 2
左移動	^B	←
右移動	^F	→
前のコマンド	^P	↑
後のコマンド	^N	↓
行の始め	^A	
行の終り	^E	
1 文字を削除	^D	DEL
前の 1 文字を削除	^H	BS
履歴を表示 (行の先頭で)	^H	
行末まで削除	^K	
削除した文字列を出力	^Y	
画面のクリア	^L	
画面の再表示	^R	

表 2.4: 履歴の設定

環境変数名	目的	デフォルト
MATX_HISTSIZE	履歴の長さ	50
MATX_HISTFILE	履歴を保存するファイル	.matx_history
MATX_HISTFILESIZE	ファイルに保存する履歴の長さ	50

2.6　mated を用いた行列の入力・編集

行列エディタ (mated) を用いて，あらかじめプログラムで使う行列を入力してファイルに保存しておくことができる。

```
% mated A.mat B.mat C.mat
```

2.7　matp を用いた行列の表示

[1]プログラム matp を使えば，MAT データフォー マットでファイルに保存した行列を表示することができる．

```
% matp A.mat B.mat C.mat
```

[1]付録参照

2.8　C 言語インターフェース

C 言語で書かれたプログラムを matc が生成したコードにリンクすることは，とても簡単である。C 言語でプログラミングする時に守らなければならない規則を以下に示す。ライブラリ関数の詳しい説明は，別冊のライブラリ・リファレンス・マニュアルを参照すること。

1. ファイルの先頭で，使用するクラスのヘッダーファイルを include する。関数 main() の最初で，行列クラス，多項式クラス，有理関数クラス，リストクラスの初期化関数 MatInit(), PolyInit(), RatInit(), ListInit() を呼び出す。その後，広域変数の行列，多項式，有理関数，リストを初期化する。

```
#include <matrix.h>
#include <polynomial.h>
#include <rational.h>
#include <list.h>

Matrix a, b;     // 広域行列変数
Polnomial c, d; // 広域多項式変数
Rational e, f;  // 広域有理関数変数
List g, h;       // 広域リスト変数

void main(argc, argv)
  int  argc;
  char *argv[];
{
  // 各クラスの初期化
  MatInit(); PolyInit();
  RatInit(), ListInit();

  // 広域変数の初期化
  a = MAT_DEF,  b = MAT_DEF;
  c = POLY_DEF, d = POLY_DEF;
  e = RAT_DEF,  f = RAT_DEF;
  g = LIST_DEF, h = LIST_DEF;
  ......................
}
```

2. 局所変数の占有した領域を関数終了時に解放するために，関数内で使用するクラスに応じて，関数の始めと終りに次の宣言と文を書く。

```
void foo()
{
  Matrix     mat_last = MAT_DEF;
  Polynomial poly_last = POLY_DEF;
  Rational   rat_last  = RAT_DEF;
  List       list_last = LIST_DEF;

  ......................
  MatFrees(mat_last);
  PolyFrees(poly_last);
  RatFrees(rat_last);
  ListFrees(list_last);
}
```

3. 局所変数の行列，多項式，有理関数，リストは，宣言と同時に初期化する。

```
void foo()
{
  ......................
  Matrix     aa = MAT_DEF,  bb = MAT_DEF;
  Polynomial cc = POLY_DEF, dd = POLY_DEF;
  Rational   ee = RAT_DEF,  ff = RAT_DEF;
  List       gg = LIST_DEF, hh = LIST_DEF;
  ......................
}
```

第3章　コマンドと便利な機能

3.1　画面に表示

値を表示するには，クラスの区別なく print コマンドを使用する。コンマで区切ることにより，複数の値を同時に指定できる。

```
print 1, 1.0, (1,2), "Hello", [[1 2][3 4]]
```

3.2　キーボードからの入力と編集

値を入力・編集するには，クラスの区別なく read コマンドを使用する。コンマで区切ることにより，複数の値を同時に指定できる。行列を入力・編集する時は，行列エディタが起動される。

```
read a, b, A, B
```

3.3　入出力

C 言語と同様にデータを画面に書式を指定して出力 (printf()) したりデータをキーボードから読み込む (scanf()) ことができる。 入出力の例を次に示す。


```
printf("%d %lf %s", 10, 3.1415, "Hello")

{a, b, c} = scanf("%d %lf %s")
print a, b, c
```

3.4　登録関数の表示 (matx のみ)

登録されている組み込み関数とユーザ定義関数を表示するには what コマンドを使用する。

```
what
```

また，which コマンドを使えば，どのファイルで定義されたユーザ定義関数が登録されているか分かる。変数を指定しないで which コマンドを使うと，登録されている全ての関数の情報が表示される。

```
which
which bode, ss2tfm
```

which コマンドで表示されるファイルは，require 修飾子[1]付きの関数宣言で変更できる。

3.5　登録変数の表示 (matx のみ)

登録されている変数を表示するには who コマンドを使用する。

```
who
```

[1] 8.1.1 節参照。

登録されている変数の詳しい情報を表示するには whos コマンドを使用する。変数を指定しないと，登録されている全ての変数の情報が表示される。

```
whos
whos a, b, A, B
```

3.6 変数の消去

変数を消去するには，clear コマンド[2]に変数名をコンマで区切って指定する。

```
clear a, b, A, B
```

3.7 変数の存在を調べる (matx のみ)

ある変数が定義されているか調べるには，変数名を引数として関数 exist() を呼ぶ。局所変数として定義されている場合は，2，大域変数としてのみ定義されている場合は，1，定義されていない場合は，0 が返される。

```
i = exist("A");
if (i == 0)
  print "A dosen't exist.";
} else if (i == 1) {
  print "A is a global variable.";
} else if (i == 2) {
  print "A is a local variable.";
}
```

[2] clear コマンドは画面のクリアに使用する。

3.8 環境変数の設定と取得

環境変数を取得には，関数 getenv() を使用し，環境変数を設定するには，関数 putenv() を使用する。

```
putenv("DISPLAY=dazai:0.0");
disp = getenv("DISPLAY");
```

3.9 メニューを表示する

メニューを表示するには，関数 menu() を使用する。第 2 引数にデフォルトのメニュー番号を指定することができる。

```
mode = menu({"TITLE","item1","item2","item3","item4"});

menu0 = {"TITLE", "item1", "item2", "item3", "item4"};
default_item = 2;
mode = menu(menu0, default_item);
```

メニューのキーバインディングの次の表に示す。記号 ^ は，Ctrl キーを押しながら続く文字を同時に押すことを表す。例えば，^N は，Ctrl キーを押したまま N キーを同時に押すことを意味する。

3.10 OS のコマンドを実行する

OS のコマンドを実行するには，関数 system() を使用する。この関数は OS からの終了コードを返す。シェルが実行できた場合は 0 が返される。インタプリタ (matx) では，コマンドラインの先頭を ! で始めると，その行はそのままシェルに渡される。

表 3.1: メニューのキーバインディング

機能	キー
下移動	^N または j または ↓
上移動	^P または k または ↑
i 番のメニュー	数字 i (0 ~ 9)
10 以上の番号を選択	+を 1 回で 10
	+を 2 回で 20
決定	リターン

```
system("xplot -silent A.mat");
 ! ls *.c
 ! pwd
```

3.11　画面のクリア (matx のみ)

画面をクリアするには，clear コマンド[3]を使用する。

```
clear;
```

3.12　ベル

関数 bell() を呼ぶと，ベルが鳴る。

```
bell();
```

[3] clear コマンドは変数の消去にも使用する。

3.13　時間の計測

関数 settimer() でインターバルタイマの値をリセットし，関数 gettimer() を呼び出すと，その間の時間 (秒数) を 1 ms 単位で計測できる。UNIX ではプロセスの CPU 時間が，Windows と DOS では実行時間が計測される。

```
settimer();
for (i = 1; i <= 100; i++) {
  A = rand(100);
}
print gettimer();
```

3.14　現在の日付と時間

関数 clock() は現在の日付と時間を含む 6 成分からなる行ベクトル返す。

```
[year month day hour minute seconds]
```

```
date_time = clock();
```

最初の 5 個の成分は整数であり，最後の seconds は正確な実数である。

3.15　警告

警告メッセージを表示するには，warning() 関数を使用する。メッセージが標準エラー出力に出力される。長さが 0 の文字列を引数にして warning() を呼ぶと，警告は無視される。この関数には printf() と同じ書式を指定できる。

```
warning("WARNING: Poles lie near the imaginary axis.\n");
warning("Poles lie on the imaginary axis at (%f, %f)\n",
         Re(p), Im(p));
warning("");
```

3.16　エラー停止

error() 関数を使用すると，エラーメッセージが表示され，実行が中止される。メッセージが標準エラー出力に出力される。長さが 0 の文字列を引数にして error() を呼ぶと，エラーは無視される。引数がない場合は，単に実行が停止する。この関数には printf() と同じ書式を指定できる。

```
error("ERROR: Zero division\n");
error("Dimension error A(%d, %d), B(%d, %d)\n",
       Rows(A), Cols(A), Rows(B), Cols(B));
error("");
error();
```

3.17　ヘルプ

help コマンドを実行すると関数一覧が表示される。help topic を実行すると，指定したトピックスに関する情報が表示される。topic がヘルプファイル中で見つからない場合は，topic.mm という mm ファイルが探される。そして，そのファイルが存在した場合，ファイルの先頭部分のコメント (/* と*/で囲まれた部分) が画面に表示される。ヘルプメッセージが表示されるとき，環境変数 PAGER に設定されているページャーが使われる。何も設定されていないとき，more が使われる。なお，環境変数 LANG に ja，japanese，ja_JP.xxx が設定されていれば，日本語でヘルプが表示される。


```
help;       // 関数一覧を表示
help eig;   // 組み込み関数 eig に関する情報を表示
help Ode;   // ユーザ関数 Ode に関する情報を表示
```

3.18　停止

プログラムを停止するには，pause コマンドを使用する。停止する時間を指定することができる。

```
pause;                              // 何かキー入力するまで停止
pause 5;                            // 5 秒間停止
pause "Hit Any Key\n";              // メッセージを表示して，
                                    // 何かキー入力するまで停止
pause "five seconds\n", 5;          // メッセージを表示して，
                                    // 5 秒間停止
```

3.19　終了

インタプリタ (matx) を終了するには quit コマンドを使用する。関数の実行中に exit() が呼ばれると，関数の実行が中断されコマンドラインに戻る。matc が生成した実行プログラムでは，exit() が呼ばれるとプログラムが終了し，引数がシェルに渡される。

```
quit;
exit;
exit(-1);
```

3.20　クラス変換

型の異なるデータの演算においては，自動型変換が行なわれるが，いくつかの演算は，明示的な型変換を必要とする。例えば，

```
A = ([1 2 3] * [4 5 6]') * [[1 2][3 4]];
```

で，([1 2 3] * [4 5 6]') は 1×1 の実行列であるので，次の行列との乗算はエラーとなる。1×1 の実行列から (1,1) 成分を取り出すには式をブラケット [と] で囲み変数行列と同様に扱えるようにする 15.5.3。すなわち

```
A = [[1 2 3] * [4 5 6]'](1) * [[1 2][3 4]];
```

のように変更する。

```
A = [[1 2][3 4]];  B = [[5 6][7 8]];
C = A .* B;
D = Array(A) * Array(B);
```

の結果 C と D は一致する。

```
A = [[1 2][3 4]];
for (i = 1; i <= 10; i++) {
  print A * i >> "A-" + String(i) + ".mat";
}
```

で，関数 String() は，整数を文字列に変換する。
クラス変換関数を用いてクラスを変換することができる。クラス名とそのクラスへの変換関数の名前は一致している。以下にクラス変換関数の一覧を示す。

```
s = String(整数)          整数の文字列化
s = String(実数)          実数の文字列化
```



```
s = String(複素数)        複素数の文字列化
s = String(多項式)        多項式の文字列化

i1 = Integer(文字列)      整数の文字列表現の整数化
i1 = Integer(実数)        実数に一番近い整数

r1 = Real(文字列)         実数の文字列表現の実数化
r1 = Real(複素数)         複素数の実部

c1 = Complex(実数)        実数が実部で，虚部が零の複素数

P1 = Polynomial(実数)     定数項が実数の実多項式
CP1 = Polynomial(複素数) 定数項が複素数の複素多項式
P1 = Polynomial(実行列)   行列の成分を昇べきの順に係数に持つ多項式，
                                次数はベクトルの次数-1

CP1 = CoPolynomial(実多項式) 引数を実部とする複素多項式

R1 = Rational(実数 r)     分子が Polynomial(r1)，分母が 1
CR1 = Rational(複素数 c) 分子が Polynomial(c1)，分母が 1
R1 = Rational(実多項式)   分子が実多項式，分母が 1
R1 = Rational(実行列 M1) 分子が Polynomial(M1)，分母が 1

CR1 = CoRational(実有理関数) 引数を実部とする複素有理関数

M1 = Matrix(配列)         配列と同じ成分を持つ行列
M1 = Matrix(多項式)       多項式の係数を昇べきの順に並べた横ベクトル
M1 = Matrix(実数 r)       (1,1) 成分が r の 1x1 実行列
CM1 = Matrix(複素数 c)    (1,1) 成分が c の 1x1 複素行列
```

```
CM1 = CoMatrix(実行列|配列)       引数を実部とする複素行列
PM1 = PoMatrix(実行列|配列)       引数を定数項とする多項式行列
CPM1 = PoMatrix(複素行列|配列)    引数を定数項とする複素多項式行列
RM1 = RaMatrix(実行列|配列)       引数を分子の定数項とする
                                   有理関数行列
CRM1 = RaMatrix(複素行列|配列)    引数を分子の定数項とする
                                   複素有理関数行列
RM1 = RaMatrix(多項式行列|配列)   引数を分子とする有理関数行列

A1 = Array(行列)           行列と同じ成分を持つ配列
A1 = Array(多項式)         多項式の係数を昇べきの順に並べた配列
A1 = Array(実数 r)         (1,1) 成分が r の 1x1 実配列
CA1 = Array(複素数 c)      (1,1) 成分が c の 1x1 複素配列

CM1 = CoArray(実配列|行列)        引数を実部とする複素配列
PM1 = PoArray(実配列|行列)        引数を定数項とする多項式配列
CPM1 = PoArray(複素配列|行列)     引数を定数項とする複素多項式配列
RM1 = RaArray(実配列|行列)        引数を分子の定数項とする
                                   有理関数配列
CRM1 = RaArray(複素配列|行列)     引数を分子の定数項とする
                                   複素有理関数配列
RM1 = RaArray(多項式配列|行列)    引数を分子とする有理関数配列

I1 = Index(行列)           整数に近似した成分を持つ指数
I1 = Index(配列)           整数に近似した成分を持つ指数
I1 = Index(整数 i)         第 1 成分が i の指数
I1 = Index(実数 r)         第 1 成分が r を近似した整数である指数
```


3.21　複数行に渡る式 (コマンドラインのみ)

演算子を行の最後に書くことによって，複数行に渡って式を書くことができる。関数呼び出しの引数並びの途中で改行するためには，コンマ “,” を行の最後に書く。ただし，不等式と複素値の定義の途中では改行することはできない。

```
a = 3 * 4 + 5 * 6 +
    7 * 8 + 9 * 10;

F = H_infty(A11, A12, A21, A22,
            B1, B2, C1, C2);
```

3.22　代入式

MATX における代入は，C 言語の代入式と同様に式として処理される。そして，代入式の評価順序は右から左である。ただし，リストから複数個の成分を取り出すための代入，行列の成分の代入，多項式の係数の代入，リストの成分の代入，は式ではなく文として処理される。例えば，

```
Matrix A;
Polynomial B;
List C;

A = Z(2);
A(1,1) = 1.0;           // 文
A(1,2) = [[1 2][3 4]];  // 文

B = Polynomial(Z(1,4));
B(1) = 3.0;             // 文

C = makelist(3);
C(1) = 1;               // 文
```

そして，

```
Matrix A, B, C;

A = B = C = Z(2,3);     // 式
```

は正しいが，

```
Matrix A, B, C;
Polynomial D;
List LL;

LL = {1, (1,2), [1 2]};   // 文
{A, B, C} = {A, B} = LL;  // 文
```

は正しくない。

3.23　式の値を保存する変数 ans

式の評価結果が変数に代入されない場合，その値は変数 ans に保存される。以下に例を示す。

```
MaTX (1) 1 + 2 + 3
ans = 6
MaTX (2) ans*ans
ans = 36
MaTX (3) sqrt(ans)
ans = 6
```

3.24　複素値

MATX の全ての演算や関数の記述において，複素数値を実値と区別なく使うことができる。複素値は，一対の実値をコンマで区切って丸括弧（ と ）で囲むことによって簡単に記述することができる。たとえば，


```
a = (3,4);
```

と記述すると

```
a = (3.00000000E+00,  4.00000000E+00)
```

となる。そして，複素行列を記述するための簡単な方法は少なくとも 2 つあって，一方は，

```
A = ([[1 2][3 4]], [[5 6][7 8]]);
```

であり，もう一方は

```
A = [[(1,5), (2,6)][(3,7), (4,8)]];
```

である。両者は同じ結果を導く。また，

```
x = $;
A = 3*x^2 + 4*x + 5;
B = 6*x^2 + 7*x + 8;
C = (A, B);
```

のように記述すると

```
C = (3,6) s^2 + (4,7) s + (5,8)
```

となる。複素値の実部と虚部は関数 Re() と Im() によって取り出すことができる。

3.25　コメント

“/*” と “*/” の間にある文章と “//” から行末までの文章は，インタプリタ (matx) とコンパイラ (matc) の両者に無視される。

したがって，コメントはプログラムを理解しやすくするために自由に使うことができる。コメントを入れる場合は，空白 (blank) あるいは改行が書けるところならどこでもよい。ただし，“/*” と “*/” によるコメントの入れ子 (ネスティング) は許されない。

3.26 プリプロセッサ

MATX は，C プリプロセッサを呼び出すことによって，言語仕様の拡張を行なっている。拡張された言語仕様のうち，最も良く使われる機能は，文字綴を任意の文字列に置換するための#define と別のファイルを読み込むための#include である。デフォルトで呼び出される C プリプロセッサは，UNIX では cpp，Windows では各 C コンパイラ (例えば Visual C++の場合 cl) であるが，次に示すように別のプリプロセッサを環境変数 MATXCPP に設定することができる。

```
setenv MATXCPP /usr/local/lib/gcc-lib/cpp
```

オプション-nocpp を指定すると，C プリプロセッサが起動されなくなる。オプション-Dname=def によって C プリプロセッサに引数を渡せる。

また，インタプリタ matx の実行時には__MATX__が，コンパイラ matc の実行時には__MATC__が自動的に 1 に定義される。これらを用いるとプログラム中の実行される箇所をインタプリタとコンパイラで容易に変更できる。例えば関数のデバッグ時にその関数を matx でスクリプトとして実行したいとき以下のようすれば良い。この例では，matx を実行するとプログラムはスクリプトとして実行され，A, B, C は大域変数として定義されるので，コマンドラインからそれらを参照できる。matc を実行すれば，関数 afo() が定義される。


```
#ifdef __MATC__
Func void afo()
{
#endif
   Matrix A,B,C;

   A = [[1 2][3 4]];
   B = [[5 6][7 8]];
   C = A + B;
   print A,B,C;
#ifdef __MATC__
}
#endif
```

また，以下の例 (関数が afo.mm というファイルに含まれるとする) では matx をコマンドラインから

```
% matx afo.mm -e 'main();'
```

のように起動するのと同じ結果得られる。matc でコンパイルするとき，関数 afo() のみが定義され，“main();” は無視される。

```
  Func void afo()
  {
     Matrix A,B,C;

     A = [[1 2][3 4]];
     B = [[5 6][7 8]];
     C = A + B;
     print A,B,C;
  }
#ifdef __MATX__
  main();
#endif
```

3.26.1 ファイルの読み込み

ファイルの読み込み機能は，マクロ定義#defineの集合や変数の宣言などの取り扱いを容易にするためのものである。次の形のソー ス行

```
  #include "filename.mm"
```

は，ファイル filename.mm の内容と置き換えられる。filename.mm に引用符がついているときには，そのファイルの探索は，元のソー スファイルのあるディレクトリから始められる。次のように filename.mm が<と>で囲まれている場合には，コンパイラ (インタプリタ) の規則に従ってそのファイルの探索が行なわれる。

```
  #include <filename.mm>
```


3.26.2 マクロ置換

次のマクロ定義

```
  #define     YES    1
```

によって，その名前を文字列によって置換するという簡単な代入が行なわれる。

普通，定義行の終りまでが置換テキストであるが，“\” を行末に付けることによって，長い定義を次の行に続けることができる。#define で定義された名前の通用範囲は，定義した点からソー スファイルの最後までである。

また，引数つきマクロの定義も可能である。これを使えば，テキストの置換はマクロの呼び出しに依存することになる。例えば，ABCD というマクロを定義したとする。

```
#define ABCD(S) S(1,Matrix),S(2,Matrix),S(3,Matrix),S(4,Matrix)
```

この ABCD はインライン展開され

```
S = tf2ss((s+1)/(s^2+3*s+4));
bodeplot(ABCD(S))
```

は次の行に換わる。

```
S = tf2ss((s+1)/(s^2+3*s+4));
bodeplot(S(1,Matrix),S(2,Matrix),S(3,Matrix),S(4,Matrix));
```

3.26.3 条件つきコンパイル

次のコンパイラ (インタプリタ) の制御文

```
#if constant-expression
```

は，定数式がゼロでないかチェックする。次の制御文

```
#ifdef identifier
```

は，identifierが定義されているかチェックする。すなわち，identifierが既に#defineによって定義されたかどうかをチェックする。次の制御文

```
#ifndef identifier
```

は，identifierが定義されていないかチェックする。これらの制御文の後には，任意のソース と制御文

```
#else
```

と

```
#endif
```

が続くことができる。もし，チェックされた条件が真のとき，#elseと#endifの間の行は無視される。もし，チェックされた条件が偽のとき，テストと#elseあるいは，#endifの間の行は無視される。

3.27 スタートアップファイル

matx 及び matc を起動すると，以下の順序でスタートアップファイルが検索されて，ファイルが存在していれば，読み込まれる。ただし，どれか 1 つのファイルが検出されると，ファイルの検索はその時点で中止される。つまり，スタートアップファイルは，1 つしか読み込まれない。

1. カレントディレクトリの.matxrc
   (MS-DOS バージョンでは，_matxrc)
2. ホームディレクトリ (環境変数 HOME に登録されているディレクトリ) の.matxrc(MS-DOS バージョンでは，_matxrc)
3. (a) カレントディレクトリの MaTXRC.mm
   (b) 環境変数 MATXINPUTS で定義されているディレクトリの MaTXRC.mm

   (コロン ":" で区切って複数のディレクトリを指定できる。
   MS-DOS バー ジョンでは，セミコロン ";" で区切る。)

   (c) デフォルト mm ファイルディレクトリ (コンパイル時に決定される) の MaTXRC.mm

3.28 クイットファイル (matx のみ)

matx を quit コマンドや exit 関数を使って終了すると，以下の順序でクイットファイルが検索されて，ファイルが存在していれば，読み込まれる。ただし，どれか 1 つのファイルが検出されると，ファイルの検索はその時点で中止される。つまり，クイットファイルは，1 つしか読み込まれない。

1. カレントディレクトリの.matxout
   (MS-DOS バージョンでは，_matxout)
2. ホームディレクトリ (環境変数 HOME に登録されているディレクトリ) の.matxout(MS-DOS バージョンでは，_matxout)
3. (a) カレントディレクトリの MaTXOUT.mm
   (b) 環境変数 MATXINPUTS で定義されているディレクトリの MaTXOUT.mm

   (コロン ":" で区切って複数のディレクトリを指定できる。
   MS-DOS バー ジョンでは，セミコロン ";" で区切る。)

(c) デフォルト mm ファイルディレクトリ (コンパイル時に決定される) の MaTXOUT.mm

3.29 バグ

- プログラム中に転置を意味するシングルクオート “’” があると , その行ではプリプロセッサ (cpp) が置換作業を行わないことがある。

第4章　ファイル

4.1　mm ファイル の読み込み (matx のみ)

load コマンドの引数に mm ファイルの名前を文字列として指定することによって mm ファイルを読み込むことができる。拡張子を省略すると，拡張子は mm となる。コンマで区切ることにより，複数の mm ファイルを同時に指定できる。mm ファイルは，

1. カレントディレクトリ
2. 環境変数 MATXINPUTS で定義されているディレクトリ以下の全てのディレクトリ
   (コロン ":" で区切って複数のディレクトリを指定できる。
   MS-DOS バー ジョンでは，セミコロン ";" で区切る。)
3. デフォルト **mm** ファイルディレクトリ以下の全てのディレクトリ (コンパイル時に決定される)

の順番で探索される。環境変数 LANG に ja，japanese，ja_JP.xxx が設定されていて，各ディレクトリに ja というディレクトリが存在すれば，そこが先に検索される。

何も指定しないと，カレントディレクトリにファイル MaTXRC.mm が存在すれば，そのファイルが読み込まれる。


```
load "filename1.mm", "filename2.mm";
load;

load "/usr/local/tmp/file.mm";  // UNIX の絶対パス
load "c:/tmp/file.mm";          // DOS の絶対パス (1)
load "c:\\tmp\file.mm";         // DOS の絶対パス (2)
```

DOS の絶対パスの区切り文字はスラッシュ / でもバックスラッシュ \ のどちらでもよい。ただし，文字列中の \t や \n などは特殊文字として解釈されるので，バックスラッシュ \ を重ねる必要がある。

4.2　データのファイル入出力

データをファイルに保存したりファイルから読み込むための方法が，いくつかある。

4.2.1　行列データのファイル入出力

行列をファイルへ書き込むには，print コマンドを用い出力先を記号>>によってファイルにリダイレクトする。ファイル名の拡張子は，自由に決めることができるが，mat を用いることが推奨される。行列データは，**MAT** データフォーマットでファイルに書き込まれる。

```
print A >> "filename.mat";
```

行列をファイルから読み込むには，read コマンドを用い入力先を記号<<によってファイルにリダイレクトする。ファイル名の拡張子は，自由に決めることができるが，mat を用いることが推奨される。

```
read A << "filename.mat";
```

4.2.2　一般データのファイル入出力

データをファイルへ書き込むには，print コマンドを用いる。出力先を記号->によってファイルにリダイレクトする。matx の場合，拡張子を省略すると，拡張子は mx となる。データは，MX データフォーマットでファイルに書き込まれる。

```
print a, b, c, d -> "filename.mx";
```

データをファイルからの読み込むには，read コマンドを用いる。入力先を記号<-によってファイルにリダイレクトする。matx の場合，拡張子を省略すると，拡張子は mx となる。matx の場合，ファイル名だけを指定すると，ファイルに保存されている全てのデータが読み込まれる。ただし，保存したデータと同じ変数に読み込まれる。

```
read a, b, c, d <- "filename.mx";
```

この方法はデータをバイナリ形式でファイルに保存するので，データの精度が保存される。次に示すように入力先を変更する記号<-は式の中に現われる可能性がある。

```
print 0<-a;
```

この式は-a が正である (0 より大きい) かどうか調べる意図で書かれているが，< と - の間にスペースが無いので，まとめて<-として解釈され，文法エラーになる。< と- の間にスペースを入れると意図通りに解釈される。

4.2.3　バイナリデータのファイル入出力

関数 fread(fd, size, type) は指定したファイルからバイナリデータを読み込み，それを成分とする行ベクトルを返す。読み込みに失敗すると，0 x

0 の行列を返す。fd は fopen() が返すファイルディスクリプタ，size は読み込むデータ数，type は読み込むデータの型である。type には，C 言語のデータの型を指定する。以下の表に指定できる型を示す。ただし，符合あり (signed) の型を指定できないことがある。また，fread(fd, size, type, 1) はバイナリデータの数値形式 (Endian) を変更して行ベクトルを返す。

表 4.1: バイナリデータの型

type	データ型
"char"	文字 (8 bits)
"signed char"	符合あり文字 (8 bits)
"unsigned char"	符合なし文字 (8 bits)
"short"	整数 (16 bits)
"signed short"	符合あり整数 (16 bits)
"unsigned short"	符合なし整数 (16 bits)
"int"	整数 (16,32,64 bits)
"signed int"	符合あり整数 (16,32,64 bits)
"unsigned int"	符合なし整数 (16,32,64 bits)
"long"	整数 (32 bits)
"signed long"	符合あり整数 (32 bits)
"unsigned long"	符合なし整数 (32 bits)
"float"	単精度浮動小数点数 (32 bits)
"double"	倍精度浮動小数点数 (32 bits)

関数 fwrite(fd, mat, type) は行列 mat の成分を指定したファイルに指定したデータ型のバイナリで書き込む。データは行の順に書き込まれる。fd は fopen() が返すファイルディスクリプタ，mat は書き込む行列，type は書き込むデータの型である。type には，C 言語のデータの型を指定する。

行列の成分を int 型のバイナリでファイルに保存し，そのデータを別の行列に読み込む例を以下に示す。

```
// 行列 A を int 型のバイナリデータとして保存する
A = [1 2 3 4 5];
fd = fopen("data", "w");
fwrite(fd, A, "int");
fclose(fd);

// 5 個の int 型のバイナリデータを行列 B に読み込む
fd = fopen("data", "r");
B = fread(fd, 5, "int");
fclose(fd);

// 3 個の double 型のバイナリデータを Endian を変更
// して行列 C に読み込む
fd = fopen("data", r");
C = fread(fd, 3, "double", 1);
fclose(fd);
```

なお，使用中の計算機のバイナリの数値形式 (Endian) は，関数 machine_endian() で調べることができる。この関数は IEEE Little Endian (PC, 386, 486, etc.) のとき 0 を返し，IEEE Big Endian (SPARC, Motorola, etc.) のとき 1 を返す。

4.2.4　一般データの保存と読み込み

値を保存するには，クラスの区別なく save コマンドを使用する。保存する値をコンマで区切って並べ，最後にファイル名を指定する。データは，**mm** ファイルと同じ形式で保存される。拡張子を省略すると，拡張子は mm となる。

インタプリタ (matx) の場合，ファイル名だけを指定すると全ての広域変数が保存され，何も指定しないとファイル MaTX.mm に全ての広域変数が保存される。


```
save M1, r1, P1, [[1 2][3 4]], "Hello", "file.mm";
save "file"; // 全変数は"file.mm"に保存される。(matx のみ)
save;        // 全変数は"MaTX.mm"に保存される。(matx のみ)
```

インタプリタ (matx) の場合，save コマンドでファイルに保存したデータを load コマンドで読み込むことができる。ただし，データは広域変数として読み込まれるので，関数の内側で load コマンドを実行してはならない。拡張子を省略すると，拡張子は mm となる。

```
load "filename1.mm", "filename2.mm";
```

4.3　ファイル入出力

C 言語と同様にファイルをオープン fopen() し，データをファイルに出力 (fprintf()) したり，データをファイルから読み込む (fscanf()) こともできる。ファイルを fopen() でオープンしたあとは，ファイルディスクリプタによってファイルを指定する。不要になったファイルは fclose() によって閉じる。 ファイルディスクリプタを用いたファイル入出力の例を次に示す。

```
  if ((id1 = fopen("afo", "w")) < 0) {
      error("Can't open %s", "afo");
  }
  fprintf(id1, "%d %lf %s", 10, 3.1415, "Hello");
  fclose(id1);

  if ((id2 = fopen("afo", "r")) < 0) {
      error("Can't open %s", "afo");
  }
  {a, b, c} = fscanf(id2, "%d %lf %s");
  fclose(id2);

  print a, b, c;
}
```

4.4　プロセスの終端の検出

fopen() によってオープンしたファイルからデータを読み込むとき，ファイルの終端を検出したいことがある。C 言語と同様に関数 feof() によって，それを検出できる。関数 feof() に調べたいファイルのディスクリプタを指定すると，ファイルの終端に達していれば，1 を，終端に達していなければ 0 を，ファイルがオープンされていなければ −1 を返す。

4.5　プロセス間通信

ファイルと同様にプロセスをオープン popen() し ,データをプロセスに送ったり (fprintf()) したり，データをプロセスから受け取ったり (fscanf()) できる。プロセスを popen() でオープンしたあとは，プロセスディスクリプタによってプロセスを指定する。これは，ファイルディスクリプタと同様に扱える。通信が不要になったプロセスは pclose() によって終了する。プロセスディスクリプタを用いたプロセス間通信の例を次に示す。

```
if ((pid = popen("bc")) < 0) {
    error("Can't open %s", "bc");
}
fprintf(pid, "3 + 4\n");
{a} = fscanf(pid, "%d");
print a;
pclose(pid);
```

次に，gnuplot とのプロセス間通信の例を示す。


```
if ((pid = popen("gnuplot -title sample")) < 0) {
    error("Can't open %s", "gnuplot");
}
fprintf(pid, "plot sin(x)\n");
pause;
fprintf(pid, "quit\n");
pclose(pid);
}
```

4.6　ファイルのアクセス権を調べる

ファイルが存在しているか (mode==0)，そのファイルを実行できるか (mode==1)，そのファイルに書き込めるか (mode==2)，そのファイルを読み込めるか (mode==4)，ファイルのアクセス権を調べるには，ファイルのパス (ファイル名) を引数として関数 access() を呼ぶ。アクセス権がある場合，0 が返され，アクセス権がない場合，0 以外の値が返される。第 2 引数に調べたいアクセス権を整数の論理和で指定できる。モードを省略した場合，読み込みできるかを調べる。

```
i = access("afo.mm");
if (i == 0)
  print "afo.mm exists.";
} else {
  print "afo.mm doesn't exist.";
}

i = access("afo.mm", 2);
if (i == 0)
  print "afo.mm can be changed";
} else {
  print "afo.mm cann't be changed.";
}
```

4.7　ディレクトリを変更する

作業ディレクトリを変更するには，コマンド chdir を使用する。ただし，文字列中の \t や \n などは特殊文字として解釈されるので，バックスラッシュ \ を重ねる必要がある。

```
chdir "/usr/local/tmp"     // UNIX
chdir "c:/tmp"             // DOS(1)
chdir "c:\\tmp"            // DOS(2)
```

第5章　行列エディタ (Matrix Editor)

行列の大きさが大きくなればなるほど，行列の入力・編集作業は面倒になる。入力中にちょっとした間違いを犯しても，もう一度最初からやり直さなければならない。そういった面倒な作業からユーザを解放するために行列エディタ (Matrix Editor) が開発された。ユーザがアルファベットや特殊文字などの不適当な文字をタイプしても，行列エディタが常にタイプされた文字を判断しているので，問題は生じない。行列エディタの特徴を以下に示す。

1. 任意の大きさの行列を入力・編集でき，大きさを任意に変更できる。
2. 大きな行列を編集する時，画面が上下左右にスクロールする。
3. ウィンドウシステムやグラフィック端末を必要とせず，curses ライブラリがサポートするキャラクタ端末，エスケープシーケンスをサポートする端末で使用可能。
4. 実行列だけでなく，複素行列も入力・編集可能。ただし，数式行列の編集機能は未開発。
5. 単位行列の入力，零行列へのリセット，複素行列への変換，転置行列への変換が容易。
6. 行削除，列削除，ペースト，領域の複写が可能。
7. ファイルへの書き込みと，ファイルからの読み込みができる。
8. Emacs 風キー，vi 風キー，矢印キーによるカーソルの移動が可能。

5.1　実行列の編集

図 5.1 は，行列エディタを使って，(50×10) の実行列の (18 行 ~ 32 行)(3 列 ~ 6 列) を入力している様子を示している。

```
Name :  [ A ]
Size :  [  50, 10 ]    Filename : A

           (  3)          (  4)          (  5)          (  6)
( 18)  -1.957854E-01  9.554574E-02 -1.957854E-01  9.554574E-02
( 19)  -1.953817E-01  9.751419E-02 -1.953817E-01  9.751419E-02
( 20)  -1.949779E-01  9.948264E-02 -1.949779E-01  9.948264E-02
( 21)  -1.945741E-01  1.014511E-01 -1.945741E-01  1.014511E-01
( 22)  -2.084542E-01  8.378548E-02 -2.084542E-01  8.378548E-02
( 23)  -2.080504E-01  8.575394E-02 -2.080504E-01  8.575394E-02
( 24)  -2.076466E-01  8.772239E-02 -2.076466E-01  8.772239E-02
( 25)  -2.072429E-01  8.969085E-02 -2.072429E-01  8.969085E-02
( 26)  -2.068391E-01  9.165930E-02 -2.068391E-01  9.165930E-02
( 27)  -2.064353E-01  9.362776E-02 -2.064353E-01  9.362776E-02
( 28)  -2.060315E-01  9.559621E-02 -2.060315E-01  9.559621E-02
( 29)  -2.056277E-01  9.756466E-02 -2.056277E-01  9.756466E-02
( 30)  -2.052239E-01  9.953312E-02 -2.052239E-01  9.953312E-02
( 31)  -2.048201E-01  1.015015E-01 -2.048201E-01  1.015015E-01
( 32)  -2.044164E-01  1.034700E-01 -2.044164E-01  1.034700E-01
```

図 5.1: 行列エディタ (実行列)

5.2　複素行列の編集

C コマンドによって，実行列を複素行列に変換したり，実部行列や虚部行列を複素行列に戻すことができる。(ただし，matx のみ) 実部行列や虚部行列を取り出して編集する時，行列のファイルへの書き込みやファイルから読み込み，1 行削除，1 列削除，大きさの変更は，できない。図 5.2 は，行列エディタを使って，(30×10) の複素行列の (12 行 ~ 26 行)(3 列 ~ 4 列) を入力している様子を示している。図 5.3 と図 5.4 は，R コマンドと I コマンドによって，複素行列の実部行行列と虚部行列を取り出して編集している様子を

示している．

```
 Name :  [ B ]
 Size :  [  30, 10 ]   Filename : B

          (  3)-Real    (  3)-Imag    (  4)-Real    (  4)-Imag
( 12)   5.763537E-01  3.227756E-01  2.890290E-01  8.225142E-01
( 13)   2.218456E-01  1.713277E-01  5.039103E-01  1.292042E-01
( 14)   2.112349E-01  7.294220E-02  6.336816E-01  4.309787E-01
( 15)   8.716954E-01  9.988188E-02  6.955673E-01  7.323241E-01
( 16)   6.781542E-01  8.113680E-01  5.772123E-01  8.804363E-01
( 17)   6.445914E-01  9.994860E-01  2.568782E-02  8.759036E-03
( 18)   6.485325E-01  5.361216E-01  2.513150E-01  9.766774E-01
( 19)   2.967033E-01  7.648637E-01  6.800593E-01  4.797411E-01
( 20)   8.320193E-01  2.827639E-01  3.725870E-01  1.078266E-01
( 21)   8.935846E-01  1.882765E-01  9.587078E-01  9.792556E-01
( 22)   5.605379E-01  2.117229E-01  6.072429E-01  9.438229E-01
( 23)   8.295992E-01  1.647209E-01  5.731654E-01  7.800235E-01
( 24)   2.509799E-01  8.080054E-01  2.564957E-01  7.973468E-01
( 25)   3.942465E-01  4.115652E-01  5.600023E-01  5.074672E-01
( 26)   9.020740E-01  6.695332E-02  2.406348E-01  4.392214E-01
```

図 5.2: 行列エディタ (複素行列)

```
 Name :  [ Re(B) ]
 Size :  [  30, 10 ]

          (  3)         (  4)         (  5)         (  6)
( 12)   5.763537E-01  2.890290E-01  3.210669E-01  2.613233E-01
( 13)   2.218456E-01  5.039103E-01  6.703021E-02  3.930634E-01
( 14)   2.112349E-01  6.336816E-01  5.356539E-02  7.834114E-01
( 15)   8.716954E-01  6.955673E-01  9.301896E-01  4.550905E-01
( 16)   6.781542E-01  5.772123E-01  2.731182E-01  9.353880E-01
( 17)   6.445914E-01  2.568782E-02  8.413805E-01  7.701880E-02
( 18)   6.485325E-01  2.513150E-01  2.286443E-01  2.509221E-01
( 19)   2.967033E-01  6.800593E-01  8.331472E-01  8.763075E-01
( 20)   8.320193E-01  3.725870E-01  7.570482E-01  1.092149E-01
( 21)   8.935846E-01  9.587078E-01  1.217351E-01  9.815443E-01
( 22)   5.605379E-01  6.072429E-01  8.164395E-01  4.465349E-01
( 23)   8.295992E-01  5.731654E-01  1.047806E-01  7.329764E-01
( 24)   2.509799E-01  2.564957E-01  3.381931E-01  3.882216E-01
( 25)   3.942465E-01  5.600023E-01  3.108211E-01  8.225768E-01
( 26)   9.020740E-01  2.406348E-01  3.731643E-01  7.522860E-01
```

図 5.3: 行列エディタ (実部行列)


```
 Name :  [ Im(B) ]
 Size :  [  30, 10 ]

          (  3)         (  4)         (  5)         (  6)
( 12)   3.227756E-01  8.225142E-01  1.384097E-02  9.237073E-01
( 13)   1.713277E-01  1.292042E-01  1.589902E-01  2.927582E-01
( 14)   7.294220E-02  4.309787E-01  7.498257E-01  1.519544E-01
( 15)   9.988188E-02  7.323241E-01  5.288297E-01  5.194745E-01
( 16)   8.113680E-01  8.804363E-01  1.127707E-03  1.070992E-01
( 17)   9.994860E-01  8.759036E-03  6.378548E-02  9.676939E-01
( 18)   5.361216E-01  9.766774E-01  2.334755E-01  4.185591E-01
( 19)   7.648637E-01  4.797411E-01  5.563773E-01  1.208822E-02
( 20)   2.827639E-01  1.078266E-01  2.987334E-01  5.287705E-01
( 21)   1.882765E-01  9.792556E-01  5.031973E-01  1.600592E-01
( 22)   2.117229E-01  9.438229E-01  6.220121E-01  2.136757E-01
( 23)   1.647209E-01  7.800235E-01  7.095231E-01  1.848203E-01
( 24)   8.080054E-01  7.973468E-01  9.864512E-01  6.998894E-01
( 25)   4.115652E-01  5.074672E-01  8.462741E-01  8.248976E-01
( 26)   6.695332E-02  4.392214E-01  8.449764E-01  3.010135E-01
```

図 5.4: 行列エディタ (虚部行列)

5.3　キーバインディング

記号 ^ は，Ctrl キーを押しながら続く文字を同時に押すことを表す。例えば， ^C は，Ctrl キーを押したまま C キーを同時に押すことを意味する。領域のコピーを行なうには，まず，コピーしたい領域の左上に移動してマークを付ける。次に，領域の右下に移動して領域の獲得を行ない，最後にコピー先の左上に移動してペーストする。

5.4　行列エディタ (mated)

行列エディタ (mated) は，シェルのコマンドラインから起動することができ，MAT フォー マットの行列ファイルを入力・編集することができる．

```
% mated A.mat B.mat C.mat
```

表 5.1: mated のキーバインディング

機能	Emacs	Vi	特殊キー
右移動	^F	l	→
左移動	^B	h	←
上移動	^P	k	↑
下移動	^N	j	↓
1 行の始め	^A	^	
1 行の終り	^E	$	
指定した行と列へジャンプ		g	
最終行最終列		G	
1 行削除	^K-r	d-r	
1 列削除	^K-c	d-c	
書き直し	^L		
ペースト	^Y	p	
マーク		m	
領域の獲得		i	
領域のペースト		o	
単位行列		E	
零行列		Z	
全成分が 1 の行列		O	
全成分が等しい行列		F	
実部行列		R	
虚部行列		I	
実行列を複素行列に変換		C	
転置行列 (共役転置行列)		T	
ファイルからの読み込み		r	
ファイルへの書き込み		w	
終了		q	ESC

第6章　グラフィックス

作成したデータをプロットするにはグラフィック関数を使って gnuplot や xplot を呼び出す。

6.1　gnuplot

gnuplot を使ってデータをプロットするには以下の関数を使う。

表 6.1: グラフィック関数 1(gnuplot)

関数名	引数	機能
gplot(Y)		線形 x–y プロット
gplot(X, Y)	Array X, Y	
gplot(X, Y, titles)	List titles	
gplot(X, Y, titles, cmd)	String cmd	
mgplot(win, Y)	Integer win	線形 x–y プロット
mgplot(win, X, Y)	Array X, Y	
mgplot(win, X, Y, titles)	List titles	
mgplot(win, X, Y, titles, cmds)	List cmds	

グラフィック関数 (gplot(), mgplot()) 使うと，自動的に gnuplot が起動され，データがプロットされる。X-Window で gnuplot を使うには，MATX を起動する前に環境変数 DISPLAY に使っている端末の名前を設定しておく必要がある。


```
% setenv DISPLAY hostname:0.0
```

また，環境変数 MATXGNUPLOT に使用したい gnuplot を指定できる。

```
(UNIX の場合の例)
% setenv MATXGNUPLOT /usr/local/MaTX/bin/gnuplot

(Windows の場合の例)
% set MATXGNUPLOT=c:\app\MaTX\bin\gnuplot
```

関数 gplot() と関数 mgplot() の違いは，gplot() では 1 個のウィンドウ (カレントウィンドウ) にしかデータをプロットできないのに対して，mgplot() を使えば，複数の任意のウィンドウにデータをプロットできることである。つまり，データをプロットしたいウィンドウの番号を第 1 引数に指定する。

関数 mgplot() によって最後にデータをプロットされたウィンドウは，カレントウィンドウとなるので，そのウィンドウにデータをプロットするには，ウィンドウ番号を省略して関数 gplot() を使えばよい。

ただし，関数 gplot() や関数 mgplot() を使うと，ウィンドウ上の線がクリアされて，新しいデータのみがプロットされる。古いデータに新しいデータを重ねてプロットするには，後で述べる関数 greplot() や関数 mgreplot() を使う。

6.1.1　基本的なプロット

もし Y が横ベクトルなら，gplot(Y)(mgplot(win, Y)) によって Y の成分とその成分の指数を対応させた線形プロットが作成される。たとえば，ある実数の集合 {0., .48, .84, 1., .91, .6, .14} をプロットするには，その実数をベクトルの中に入れて gplot()(mgplot()) 関数を次のように実行する。

```
Y = [0. .48 .84 1. .91 .6 .14];
gplot(Array(Y));
mgplot(1, Array(Y));
```

この結果，gnuplot が起動され，データが自動的にスケールされウィンドウ上に表示され，X 軸と Y 軸が描かれる。

データが表示された後で，関数を使って，ラベル，タイトル，を変更したり，Postscript コードに落して TEX の文書に取り込んだりすることができる。もし X と Y が同じ長さのベクトルなら，gplot(X,Y)(mgplot(win,X,Y)) によって X の成分と Y の成分を対応させた線形プロットが作成される。

例えば，

```
t = [0.0:0.05:4*PI];
Ys = sin(t);
Yc = cos(t);
gplot(t, Ys);
mgplot(2, t, Yc);
```

によって，時刻 0.0 から 4*PI までの正弦波と余弦波を描くことができる。

6.1.2 複数の線

1 つのグラフ上に複数の線をプロットする方法は 2 つある。1 つ目の方法は，関数 gplot()(mgplot()) に gplot(X,Y)(mgplot(win,X,Y)) のように 2 個の引数を渡す方法である。ただし，X と Y の行の長さは同じでなければならない。X と Y がベクトルか行列かに応じて以下のようにプロットされる線が異なる。

- もし Y が行列で X がベクトルなら，gplot(X,Y) は，ベクトル X に対して Y の各行を対応させて異なった線種で線を描く。
- もし X が行列で Y がベクトルなら，gplot(X,Y) は，ベクトル Y に対して X の各行を対応させて異なった線種で線を描く。

- もし X と Y の両方が行列なら，gplot(X,Y)(mgplot(win,X,Y)) は，Y の各行に対して X の各行を対応させて異なった線種で線を描く。
- もし gplot(Y)(mgplot(win,Y)) のように X が指定されなかったら，Y の各成分とその成分の指数を対応させて異なった線種で線を描く。

1 つのグラフ上に複数の線をプロットする 2 つ目の方法は，関数 greplot()，関数 mgreplot() を使う方法である。これらの関数を使うと，古い線に新しい線が重ねてプロットされる。 例えば，

表 6.2: グラフィック関数 2(gnuplot)

関数名	引数	機能
greplot()		gplot_replot()
greplot(Y)	Array X, Y	
greplot(X, Y)		線形 x–y プロット
greplot(X, Y, titles)	List titles	
greplot(X, Y, titles, cmds)	List cmds	
mgreplot(win)	Integer win	mgplot_replot(win)
mgreplot(win, Y)		
mgreplot(win, X, Y)	Array X, Y	線形 x–y プロット
mgreplot(win, X, Y, titles)	List titles	
mgreplot(win, X, Y, titles, cmds)	List cmds	

```
gplot(X1, Y1);
greplot(X2, Y2);
...............;
greplot(X5, Y5);
```

変数 X1,Y1,X2,Y2 などは，行列の対である。それぞれの x-y 対が 1 つのグラフ上にプロットされる。この方法を使えば，異なった長さの線を同一グラフ上にプロットすることができる。

6.1.3 対数プロット

関数 gplot_semilogx() を使うと，X 軸が $\log_{10}$，Y 軸が線形スケール (片対数スケール) でデータがプロットされる。関数 gplot_semilogy() を使うと，Y 軸が $\log_{10}$，X 軸が線形スケール (片対数スケール) でデータがプロットされる。関数 gplot_loglog() を使うと，X 軸と Y 軸が共に $\log_{10}$スケール (両対数スケール) でデータがプロットされる。

対数プロットでは，最初からグリッド線が表示される。グリッド線を消去するには，関数 gplot_grid(0) や関数 mgplot_grid(win,0) を使えばよい。

関数 gplot_semilogx()(gplot_semilogy(), gplot_loglog()) の使い方は，関数 (gplot()) のそれと同じである。

関数 mgplot_semilogx()(mgplot_semilogy(), mgplot_loglog()) の使い方は，関数 mgplot() のそれと同じである。

1 つのグラフ上に複数の対数プロット描くには，関数 greplot() や mgreplot() と同様に，次に示す関数を使えばよい。これらの関数を使うと，古い線に新しい線が重ねてプロットされる。

表 6.3: グラフィック関数 3(gnuplot)

関数名/引数	機能
gplot_semilogx(X, Y) gplot_semilogx(X, Y, titles) gplot_semilogx(X, Y, titles, cmd) Array X, Y; List titles; List cmds;	セミログ x–y プロット (x 軸 ログ)
gplot_semilogy(X, Y) gplot_semilogy(X, Y, titles) gplot_semilogy(X, Y, titles, cmd) Array X, Y; List titles; List cmds;	セミログ x–y プロット (y 軸 ログ)
gplot_loglog(X, Y) gplot_loglog(X, Y, titles) gplot_loglog(X, Y, titles, cmd) Array X, Y; List titles; List cmds;	ログログ x–y プロット
mgplot_semilogx(win, X, Y) mgplot_semilogx(win, X, Y, titles) mgplot_semilogx(win, X, Y, titles, cmds) Integer win; Array X, Y; List titles; List cmds;	セミログ x–y プロット (x 軸 ログ)
mgplot_semilogy(win, X, Y) mgplot_semilogy(win, X, Y, titles) mgplot_semilogy(win, X, Y, titles, cmds) Integer win; Array X, Y; List titles; List cmds;	セミログ x–y プロット (y 軸 ログ)
mgplot_loglog(win, X, Y) mgplot_loglog(win, X, Y, titles) mgplot_loglog(win, X, Y, titles, cmds) Integer win; Array X, Y; List titles; List cmds;	ログログ x–y プロット

表 6.4: グラフィック関数 4(gnuplot)

関数名/引数	機能
greplot_semilogx(X, Y) greplot_semilogx(X, Y, titles) greplot_semilogx(X, Y, titles, cmds) Array X, Y; List titles; List cmds;	セミログ x–y プロット (x 軸 ログ)
greplot_semilogy(X, Y) greplot_semilogy(X, Y, titles) greplot_semilogy(X, Y, titles, cmds) Array X, Y; List titles; List cmds;	セミログ x–y プロット (y 軸 ログ)
greplot_loglog(X, Y) greplot_loglog(X, Y, titles) greplot_loglog(X, Y, titles, cmds) Array X, Y; List titles; List cmds;	ログログ x–y プロット
mgreplot_semilogx(win, X, Y) mgreplot_semilogx(win, X, Y, titles) mgreplot_semilogx(win, X, Y, titles, cmds) Integer win; Array X, Y; List titles; List cmds;	セミログ x–y プロット (x 軸 ログ)
mgreplot_semilogy(win, X, Y) mgreplot_semilogy(win, X, Y, titles) mgreplot_semilogy(win, X, Y, titles, cmds) Integer win; Array X, Y; List titles; List cmds;	セミログ x–y プロット (y 軸 ログ)
mgreplot_loglog(win, X, Y) mgreplot_loglog(win, X, Y, titles) mgreplot_loglog(win, X, Y, titles, cmds) Integer win; Array X, Y; List titles; List cmds;	ログログ x–y プロット

6.1.4 1 個のウィンドウに複数のグラフ

mgplot_subplot(win,m,n,p) は，ウィンドウ win を m 行 n 列の長方形に面に分割し，p 番目の面をカレント面にする。これ以後，mgplot() 関連の全ての操作はこの面に対して行われる。面はウィンドウの一番上の行の左から右に，上から下の行に向かって数える。mgplot_subplot(win,m,n,p) は，指定した位置にすでに面が存在していれば，その面をカレント面にする。mgplot(win,1,1) または mgplot(win,1,1,1) はウィンドウに存在している全ての面を消去し，ウィンドウ全体を 1 個の面にする。1 個ウィンドウを 4 分割し，4 個の異なるグラフをプロットする例を以下に示す。

```
w = linspace(-PI,PI);
s = sin(w);
c = cos(w);
mgplot_subplot(1,2,2,1); mgplot(1,w,s);
mgplot_subplot(1,2,2,2); mgplot(1,w,c);
mgplot_subplot(1,2,2,3); mgplot(1,w,2*s);
mgplot_subplot(1,2,2,4); mgplot(1,w,2*c);
```

この例では，左上に sin(x)，右上に cos(x)，左下に sin(2x)，右したに cos(2x) が表示される。gnuplot_subplot() を使用するには，gnuplot 3.5 (pre 3.6)[1]が必要である。

6.1.5 ウィンドウのクリアと消去

ウィンドウをクリアするには，関数 gplot_clear() や関数 mgplot_clear() を使う。ウィンドウをクリアしても，関数 greplot() や関数 mgreplot() を呼び出すと，前に表示されていた線が再び表示される。一方，ウィンドウを消去するには，関数 gplot_quit() や関数 mgplot_quit() を使う。一旦，ウィンドウを消去してしまうと，関数 greplot() や関数 mgreplot() を呼び出してもデータは表示されない。関数 mgplot_reset() や関数 gplot_reset()

[1] MATX の FTP サーバから入手可能。

表 6.5: グラフィック関数 5(gnuplot)

関数名	引数	機能
gplot_subplot(rows,cols,num)	Integer rows Integer cols Integer num	ウィンドウを rows x cols に分割 num 番目をカレント面に設定。
mgplot_subplot(win,rows,cols,num)	Integer win Integer rows Integer cols Integer num	ウィンドウを rows x cols に分割 num 番目をカレント面に設定。

を呼び出すと，ラベル，タイトル，グリッド等が初期状態に戻る。

表 6.6: グラフィック関数 6(gnuplot)

関数名	引数	機能
gplot_clear()		ウィンドウのクリア
gplot_reset()		ウィンドウのリセット
gplot_quit()		ウィンドウの消去
mgplot_clear(win)	Integer win	ウィンドウのクリア
mgplot_reset(win)	Integer win	ウィンドウのリセット
mgplot_quit(win)	Integer win	ウィンドウの消去
mgplot_quit()	Integer win	全ウィンドウの消去

6.1.6　ラベル，タイトル，グリッド，テキスト，他のコマンド

次の関数を使ってラベル，タイトル，グリッド，テキストを描くことができる。

関数 gplot_grid() や関数 mgplot_grid() の引数 onoff に 1 を設定するとグリッド線が表示され，0 を指定するとグリッド線が表示されない。また，引数 onoff を指定しないと，オンオフがトグルとなる。

関数 gplot_key() や関数 mgplot_key() の引数 onoff に 1 を設定すると線のタイトル (キー) が表示され，0 を指定すると線のタイトル (キー) が表示されない。また，引数 onoff を指定しないと，オンオフがトグルとなる。

関数 gplot_cmd() や mgplot_cmg() を使って任意の (gnuplot の) コマンドを gnuplot に送ることができる。複数のコマンドを一度に送るには，コマンドを改行 “\n” で区切ればよい。関数 gplot_replot() や mgplot_replot() を呼ぶと，ウィンドウが再表示される。関数 gplot_options() や mgplot_options() によって，gnuplot の起動時のオプションを指定できる。例えば，mgplot_options(1, "-geometry 400x300") のように指定する。

表 6.7: グラフィック関数 7(gnuplot)

関数名	引数	機能
gplot_title(text)	String text	グラフタイトル
gplot_xlabel(text)	String text	X 軸ラベル
gplot_ylabel(text)	String text	Y 軸ラベル
gplot_grid()		グリッド (トグル)
gplot_grid(onoff)	Integer onoff	グリッド線
gplot_key()		線のタイトル (トグル)
gplot_key(onoff)	Integer onoff	線のタイトル
gplot_replot()		ウィンドウの再表示
gplot_cmd(cmd)	String cmd	任意のコマンド
gplot_text(text,x,y)	String text	任意のテキスト
	Integer x, y	x, y 座標
gplot_options(options)	String options	gnuplot のオプション
mgplot_title(win, text)	Integer win	グラフタイトル
	String text	
mgplot_xlabel(win, text)	Integer win	X 軸ラベル
	String text	
mgplot_ylabel(win, text)	Integer win	Y 軸ラベル
	String text	
mgplot_grid(win)	Integer win	グリッド線 (トグル)
mgplot_grid(win, onoff)	Integer onoff	グリッド線
mgplot_key(win)	Integer win	線のタイトル (トグル)
mgplot_key(win, onoff)	Integer onoff	線のタイトル
mgplot_replot(win)	Integer win	ウィンドウの再表示
mgplot_cmd(win, cmd)	String cmd	任意のコマンド
mgplot_text(win,text,x,y)	String text	任意のコマンド
	Integer x,y	x, y 座標
mgplot_options(win,options)	String options	gnuplot のオプション

6.1.7 (ポストスクリプト—FIG コード) ファイルに出力

関数 gplot_psout() や mgplot_psout() を使えば，ウィンドウに表示されたグラフを簡単にポストスクリプトファイル (EPS フォーマット) に保存できる。例えば，正弦波と余弦波をウィンドウに表示した後，ポストスクリプトファイル (sin_cos.ps) に出力するには次のようにする。

```
gplot(sin([0.0:0.1:2*PI]));
gplot_replot(cos([0.0:0.1:2*PI]));
gplot_psout("sin_cos.ps");
```

関数 gplot_figcode() や mgplot_figcode() を使えば，ウィンドウに表示されたグラフを簡単に FIG コードファイルに保存できる。例えば，正弦波と余弦波をウィンドウに表示した後，FIG コードファイル (sin_cos.fig) に出力するには次のようにする。

```
gplot(sin([0.0:0.1:2*PI]));
gplot_replot(cos([0.0:0.1:2*PI]));
gplot_figcode("sin_cos.fig");
```

6.1.8 Windows95/NT で mgplot を使う

Windows95/NT の gnuplot はパイプに対応してないので，mgplot はコマンドをファイルに書き込み，そのファイル名を引数として gnuplot を起動する。mgplot は gnuplot に渡した全てのコマンドを記録しているが，グラフを描画する毎に gnuplot を起動し直さなければならない。起動回数を減らすには mgplot_hold() 関数が役に立つ。この関数でホールドされたウィンドウに対応する gnuplot は，ホールドが解除されるまで起動されることはない。以下の例では，最終行でホールドが解除されて初めて，gnuplot が起動される。

表 6.8: グラフィック関数 8(gnuplot)

関数名	引数	機能
gplot_psout(file, cmd)	String file String cmd	ポストスクリプト ファイルに保存
mgplot_psout(win, file, cmd)	Integer win String file String cmd	ポストスクリプト ファイルに保存 cmd = オプション
gplot_figcode(file, cmd)	String file String cmd	FIG コード ファイルに保存
mgplot_figcode(win, file, cmd)	Integer win String file String cmd	FIG コード ファイルに保存 cmd = オプション

```
w = [-PI:PI];
mgplot_hold(1, 1);
mgplot_subplot(1, 2, 1, 1);
mgplot(1, w, sin(w));
mgplot_subplot(1, 2, 1, 2);
mgplot(1, w, cos(w));
mgplot_hold(1, 0);
```

表 6.9: グラフィック関数 9(gnuplot)

関数名	引数	機能
gplot_hold(on_off)	Integer on_off	on_off = 0: ホールドオフ on_off = 1: ホールドオン
mgplot_hold(win, on_off)	Integer win Integer on_off	on_off = 0: ホールドオフ on_off = 1: ホールドオン

6.1.9 X ウィンドウを必要としないグラフィック表示

gplot() や mgplot() で呼び出される gnuplot には Tektronix 4010 や hterm のグラフィックモードのドライバが組み込まれているので，Tektronix 4010 や hterm のグラフィックモードをサポートする端末ソフト (kermit, vt98 など) を使えば，X ウィンドウ以外の端末でもグラフィックを表示することができる。 gplot() や mgplot() の出力モードは，変数 mgplot_term によって設定することができる。

```
mgplot_term = "";           // X Window System
mgplot_term = "x11";        // X Window System
mgplot_term = "kc_tek40xx"; // Tektronix 4010 (Kermit)
mgplot_term = "hterm";      // Hterm graphics (Hterm)
```

mgplot_term を “kc_tek40xx” に設定して，グラフィックを表示したとき，gnuplot の終了後に画面が乱れることがある。そのときは，関数 gcls() によって画面をクリアする。

```
gcls();
gcls;       // 引数が 0 個の関数は，括弧を省略できる
```

6.2 xplot

xplot[2]を使ってデータをプロットするには以下の関数を使う。

グラフィック関数 xplot() 使うと，自動的に xplot が起動されて，データが 1D キャンバス，2D キャンバス，あるいはセミログキャンバスにプロットされる。したがって，グラフィック関数 xplot() は X-Window System 上でしか使うことができない。

また，グラフィック関数を使うには，MATX を起動する前に，環境変数 DISPLAY にユーザが使っている端末の名前を設定しておく必要がある。

[2]MATX の FTP サーバから入手可能。ただし，対応する OS が限られる。

表 6.10: グラフィック関数 1(xplot)

関数名	引数	機能
xplot(Y) xplot(X, Y)	Array X, Y	線形 x–y プロット

```
% setenv DISPLAY ‘hostname‘:0.0
```

いったん xplot が起動されると，マウスを使ってポップアップメニューでラベル，タイトル，スケール，フォントを変更したり，画面のハードコピーをネットワークに接続されているプリンタに出力したり，**FIG** コードに落して TEX の文書に取り込んだりすることができる。また，次の関数を使ってもラベル，タイトル，グリッドを描くことができる。

表 6.11: グラフィック関数 2(xplot)

関数名	引数	機能
xplot_title(text)	String text	グラフタイトル
xplot_xlabel(text)	String text	X 軸ラベル
xplot_ylabel(text)	String text	Y 軸ラベル
xplot_grid()		グリッド線

6.2.1 基本的なプロット

もし Y が横ベクトルなら xplot(Y) によって Y の成分とその成分の指数を対応させた線形プロットが作成される。たとえば，ある実数の集合 {0., .48, .84, 1., .91, .6, .14} をプロットするには，その実数をベクトルの中に入れて xplot() 関数を次のように実行する。


```
Y = [0. .48 .84 1. .91 .6 .14];
xplot(Array(Y));
```

この結果 xplot が起動し，データが自動的にスケールされてキャンバス上に表示され，X 軸と Y 軸が描かれる。データが表示された後で，マウスを使ってラベル，タイトル，スケール，フォントを変更したり，画面のハードコピーをネットワークに接続されているプリンタに出力したり，FIG コードに落して TEX の文書に取り込んだりすることができる。

もし，X と Y が同じ長さのベクトルなら，xplot(X,Y) によって X の成分と Y の成分を対応させた線形プロットが作成される。例えば，

```
t = [0.0:0.05:4*PI];
Y = sin(t);
xplot(t, Y);
```

によって，時刻 0.0 から 4*PI までの正弦波を描くことができる。

6.2.2 複数の線

1 つのグラフ上に複数の線をプロットする方法は 2 つある。1 つ目の方法は，関数 xplot() に xplot(X,Y) のように 2 個の引数を渡す方法である。ただし，X と Y の行の長さは同じでなければならない。X と Y がベクトルか行列かに応じて以下のようにプロットされる線が異なる。

- もし Y が行列で X がベクトルなら，xplot(X,Y) は，ベクトル X に対して Y の各行を対応させて異なった線種で線を描く。
- もし X が行列で Y がベクトルなら，xplot(X,Y) は，ベクトル Y に対して X の各行を対応させて異なった線種で線を描く。
- もし X と Y の両方が行列なら，xplot(X,Y) は，Y の各行に対して X の各行を対応させて異なった線種で線を描く。

- もし xplot(Y) のように X が指定されなかったら，Y の各成分とその成分の指数を対応させて異なった線種で線を描く。

1 つのグラフ上に複数の線をプロットする 2 つ目の方法は，関数 xplot() に複数の引数を渡す方法である。

```
xplot(X1, Y1, X2, Y2, ..., X5, Y5);
```

変数 X1, Y1, X2, Y2 等は，行列の対である。それぞれの x-y 対が 1 つのグラフ上にプロットされる。この方法を使えば，異なった長さの線を同一グラフ上にプロットすることができる。

6.2.3 対数プロット

関数 xplot_semilogx() を使うと，片対数スケールでデータがプロットされる。すなわち，X 軸が $\log_{10}$，Y 軸が線形スケールとなる。

表 6.12: グラフィック関数 3(xplot)

関数名	引数	機能
xplot_semilogx(X, Y)	Array X, Y	セミログ x–y プロット (x 軸 ログ)

関数 xplot_semilogx() の使い方は，関数 xplot() のそれと同じである。

6.2.4 ウィンドウ・マネ– ジャ– の設定

X ウィンドウ・システムのウィンドウ・マネ– ジャ– として twm を使う場合，以下の記述を各自のウィンドウ・マネ– ジャ– の設定ファイル .twmrc に加えることによって，xplot を使用するときに，キャンバス・ウィンドウだ

けが表示されるようにできる。また，メインウィンドウやデ– タ管理ウィンドウなどは，アイコン・マネ– ジャによって自由に操作することができる。

```
###############################################
#       ICON MANAGER
###############################################

SortIconManager # keep them in alphabetic order

IconManagers
{
   "xplot"   "=280x900+2+2" 2
}

IconManagerShow
{
   "xplot"
}

IconifyByUnmapping
{
  "xplot"
}

StartIconified
{
        "XPlot"
        "2D_Info"
        "SemiLog_Info"
        "d1plot-data-1"
        "d1plot-data-2"
        "d1plot-data-3"
        "d2plot-data-1"
        "d2plot-data-2"
        "d2plot-data-3"
        "splot-data-1"
        "splot-data-2"
        "splot-data-3"
}
###############################################
```

X ウィンドウ・システムのウィンドウ・マネ– ジャ– として fvwm を使う場合，システムによってはキーボード入力が出来ないことがある。その時は，以下の記述を各自のウィンドウ・マネ– ジャ– の設定ファイル .fwmrc に加える。

```
# For fvwm-1
Lenience

# For fvwm-2
# Style "*" Lenience
```

第7章　変数

コンパイラ (matc) を使う場合，全ての変数は使う前に宣言しておかなければならない。変数には局所変数と大域変数がある。 局所変数は関数の先頭の実行可能文の前で宣言し，関数内でのみ有効である。局所変数が占有したメモリ領域は，その関数が終了すると自動的に解放される。一方，大域変数は関数 `main()` が定義される前に宣言されなければならない。大域変数は，大域的にアクセスできるから，それらは関数間のデータのやりとりについては，関数の引数と戻り値の代用にすることができる。その名前が何らかの形で宣言されていれば，大域変数は，それを名前で参照することによって，どの関数からもアクセス可能である。そうした関数の間で数多くの変数を共用しなければならない時には，長い引数リストよりも大域変数の方が便利である。しかしながら，この方法は注意して用いねばならない。なぜなら，それはプログラム構造に悪い影響を与え，関数間で多くのデータが結合したプログラムを作ることになるからである。

なお，大域変数は 0 に初期化されることが保証されるので，ユーザが陽に初期化する必要はない。リストは成分が 0 個のリストとして初期化される。ただし，行列は 0 x 0 の行列として初期化されるので，`length()` 関数を用い大きさを調べるなどして，陽に初期化する必要がある。一方，局所変数は使用する前に必ず初期化する必要がある。

7.1　変数の宣言

変数はクラス名に続けてそのクラスの変数を 1 個以上コンマ “,” で区切って宣言する。変数名は，英文字または下線 _ で始まる任意長の英数字文字列

であり，大文字と小文字は区別される。組み込み関数の名前やコマンド名等の予約語は，変数名として使用することができない。今のところ，変数は宣言の中で初期化できない。

```
Integer    i1, i2, i3;   // 整数
Real       r1, r2, r3;   // 実数
Complex    c1, c2, c3;   // 複素数
String     S1, S2, S3;   // 文字列
Polynomial P1, P2, P3;   // 有理多項式
Rational   R1, R2, R3;   // 有理関数
Matrix     M1, M2, M3;   // 行列
Array      A1, A2, A3;   // 配列
Index      I1, I2, I3;   // 指数
List       L1, L2, L3;   // リスト
```

7.2　通用範囲に関する規則

MATX プログラムを構成する関数と大域変数は，全てを同時にコンパイル必要はない，プログラムのソース・テキストを数個のファイルに保存しておき，以前にコンパイルしたルーチンをライブラリからロードしてもよい。

変数の名前の通用範囲 (scope) は，その名前が定義されるプログラムの部分である。関数の始めに宣言される局所変数では，通用範囲はその名前が宣言される関数であり，同じ名前の局所変数が別の関数にあってもこれとは関係がない。同じことは関数の引数についてもいえる。それらは実質的には局所変数だからである。

関数の通用範囲は，コンパイルされるべきファイルで宣言された点からそのファイルの終りまで続く。一方，大域変数が定義される前に参照されたり，`main()` 関数の定義されているファイルと別のソース・ファイルで参照されたりすると，`extern` 宣言が必要となる。

大域変数の宣言とその定義の区別は重要である。宣言は変数の性質を指示するものだが，定義は記憶への割り付けも引き起こす。ただし，インタプリタ (matx) では，宣言によって記憶への割り付けも行なわれる。

インタプリタ (matx) の実行中，関数の外側では，どんなデータでもそのクラスに関係なく任意の変数に代入することができる。すなわち，左辺の変数のクラスと右辺のデータのクラスが一致してなくても，代入は成功する。また，次の節で説明する暗黙の型変換によって，異なる型のデータの代入が可能となる場合がある。これ以外の全ての場所では，代入において，左辺の変数のクラスと右辺のデータのクラスは一致していなければならない。

7.3　静的変数

静的 (static) 変数は外部変数や自動変数に続く第 3 の記憶クラスである。MATX には C 言語と異なり局所 static 変数のみ存在し，大域 static 変数は存在しない。なぜなら，インタプリタにとって大域 static 変数を通常の大域変数と区別することに意味がないからである。

static 変数は自動変数と異なり，関数が起動される毎に初期化されることなく，ずっと存在し続ける。これは，static 変数が関数内で私的な永久記憶をもつことを意味する。

static 変数は 0 に初期化されることが保証されるので，ユーザが陽に初期化する必要はない。リストは成分が 0 個のリストとして初期化される。


```
Func void afo()
{
  static Integer i;     // 0 に初期化される
  static Real r;        // 0.0 に初期化される
  static Complex c;     // (0,0) に初期化される
  static Polynomial P; // 0 に初期化される
  static Rational R;    // 0 に初期化される
  static List l;        // {} に初期化される

  i = i + 1;
  r = r + 1;
  c = c + (1,0);
  P = P + 1;
  R = R + 1;
  appendlist(l, 1);
}
```

ただし，行列は 0 x 0 の行列として初期化されるので，length() 関数を用い大きさを調べるなどして，陽に初期化する必要がある。

```
Func void afo()
{
  static Matrix A;

  if (length(A) == 0) {
    A = [1];
  } else {
    A = A + [1];
  }
}
```

7.4　暗黙の型変換

異なる型のスカラーデータの代入時，次に示すルールに従って自動的に型変換が行なわれる。

実数 = 整数	整数は実数に変換される。
複素数 = 整数	整数は実数，複素数に変換される。
複素数 = 実数	実数は複素数に変換される。
有理多項式 = 整数	整数は実数，有理多項式に変換される。
有理多項式 = 実数	実数は有理多項式に変換される。
有理多項式 = 複素数	複素数は有理多項式に変換される。
有理式 = 整数	整数は実数，有理多項式，有理式に変換される。
有理式 = 実数	実数は有理多項式，有理式に変換される。
有理式 = 複素数	複素数は有理多項式，有理式に変換される。
有理式 = 有理多項式	有理多項式は有理式に変換される。

第8章　関数

関数には，行なうべき計算の過程を指示する文，および計算で使われる値を格納する変数が含まれる。MATX の関数は，C 言語の関数と似ている。普通は，関数には自分の好きな名前を付けてもよいが，main は特別な名前である。コンパイラ (matc) を使って実行可能型ファイルを作成した時，プログラムの実行は関数 main() の先頭から始まる。これは，プログラムにはどこかに関数 main() がなければならないことを意味する。 ただし，インタプリタ (matx) を使ってプログラムを実行する時は，プログラムのどこからでも実行を始めることができ，関数 main() をプログラムの中に作る必要はない。

main() の型は，Integer あるいは void である。関数 main() の型が Integer の時，他の関数と同様にその呼び出し側に対して値を返すことができる。この場合，呼び出し側とは，そのプログラムが実行される環境である。通常，戻り値が 0 であれば正常終了，0 でない値は異常な，あるいはエラー の終了状況を表す。

MATX の関数は，再帰的に使用できる。つまり，関数は自分自身を直接または間接に呼び出してよい。そして，関数の局所変数は，その関数が呼び出される毎に新しく作られる。関数の定義は，入れ子 (ネスト) にできない。また，関数はいくつかのファイルに分けて定義でき，コンパイルをファイル毎に行なえる。

8.1　関数の宣言

関数を宣言することによって，その関数を呼び出すことが可能となる。関数名は，英文字または下線 “_” で始まる任意長の英数字文字列であり，大文

字と小文字は区別される。関数名として，組み込み関数の名前や，コマンド名等の予約語を使用することはできない。

```
Integer    func_int1(), func_int2();
Real       func_real1(), func_real2();
Complex    func_cmp1(), func_cmp2();
String     func_str1(), func_str2();
Polynomial func_poly1(), func_poly2();
Rational   func_rat1(), func_rat2();
Matrix     func_mat1(), func_mat2();
Array      func_arr1(), func_arr2();
Index      func_ind1(), func_ind2();
List       func_list1(), func_list2();
void       func_void1(), func_void2();
```

8.1.1　require 修飾子付き関数宣言

関数宣言を require 修飾子付きで行うと，その関数が定義されているファイルを指定することができる。例えば，

```
void mg_main(), mg_sub1(), mg_sub2() require "mg.mm";
```

は，関数 mg_main()，mg_sub1()，mg_sub2() がファイル mg.mm で定義されていることを宣言する。この宣言により，3 個の中のどの関数が呼ばれても，自動的にファイル mg.mm が読み込まれる。ファイルが 1 度読み込まれれば，別の関数が呼ばれても mg.mm が再読み込みされることはない。

従来は，関数名とファイル名が一致しなければ，宣言された関数が呼び出されても必要なファイルが自動的に読み込まれなかった。require 修飾子を用いれば関数名と異なる名前のファイルに関数を定義できる。例えば，

```
Matrix PoleAssignSISO() "poleasgn.mm";
```

によって，長い名前の関数 PoleAssignSISO() を短い名前のファイル

poleasgn.mm に保存できるので，DOS のようにファイル名に厳しい制限のある OS でも，自由に関数名を決められる。

宣言されていて定義されていない関数が呼び出されると，その関数が定義されているファイルが，環境変数 MATXINPUTS で定義されているディレクトリ群やデフォルト mm ファイルディレクトリから再帰的に検索される。ファイルやディレクトリの数が多くなると検索に時間がかかるが，requrie 修飾子で関数が定義されているファイルを指定すれば，検索時間が短縮される。例えば，

```
List bode(...) requrie "control/bode.mm";
```

によって，関数 bode() は検索対象のディレクトリから相対パスが control/bode.mm であるファイルに定義されていることが分かるので短い時間で発見される。

8.2　関数の定義

関数は，関数定義子 Func に続けて K&R の関数定義と同様に記述する。ClassName にはその関数の返す値のクラス名を書く。値を返さない関数の ClassName には void を書く。関数内の個々の文の終りはセミコロン ";" で区切っておく。void 型以外の関数の場合，return 文を省略できない。


```
Func ClassName FunctionName(arg1, arg2, arg3, ..., argN)
ClassName1 arg1, arg2;
ClassName2 arg3;
...............
ClassNameM argN;
{
    変数の定義

    複数の文（関数の本体）

    return;       // void 関数
    return value; // void 以外の関数
}
```

8.3　複数の値を返す関数

リストを利用して，複数個の戻り値を同時に返す関数を定義することができる。そのような関数は，次の形式で記述する。

```
Integer a, d;
Complex b, f;
Matrix c, e;
List func();
{a, b, c} = func(d, e, f);
```

"a, b, c" は，関数 func() からの複数個の戻り値を表していて，"d, e, f" は，関数 func() の引数を意味する。関数 func() は，複数個の戻り値から構成されるリストを返す。左辺のリストの成分の数が関数の返すリストの成分の数より少ない時，左辺のリストの成分の数だけ関数の返すリストの成分が使用され，それ以上の成分は捨てられる。

8.4　可変長引数関数

8.4.1　リストを利用した可変長引数関数

リストを利用して，可変長の引数をもつ関数を定義することができる。可変長の引数を持つ関数の例として，引数として渡された行列の和を返す関数を以下に示す。ただし，引数の行列の大きさは，全て等しいと仮定している。

```
Func Matrix sum_mat(args)
  List args;
{
  Integer i, argn;
  Matrix ss;

  argn = length(args);
  ss = args(1, Matrix);
  for (i = 2; i <= argn; i++) {
    ss = ss + args(i, Matrix);
  }
  return ss;
}
```

可変長の引数を持つ関数を呼び出す時は，渡したい引数から 1 つのリストを作り，それを引数として渡す。関数 sum_mat() の呼び出しは，次のようになる。

```
a = [[1 0][0 1]]; b = [[1 2][3 4]];
c = [[4 3][2 1]]; d = [[0 1][1 0]];
print sum_mat({a, b, c, d});
```


8.4.2　一般的な可変長引数関数

```
Func void foo()
{
  Matrix a, b, c;
  Matrix afo(...);

  read a, b, c;

  print afo();
  print afo(a);
  print afo(a, b);
  print afo(a, b, c);
}

Func Matrix afo(a, b, c, ...)
  Matrix a, b, c;
{
  if (nargs == 0) {
    return Z(0);
  } else if (nargs == 1) {
    return a;
  } else if (nargs == 2) {
    return a + b;
  } else if (nargs == 3) {
    return a + b + c;
  }
}
```

可変長引数関数の定義は，引数リストの最後に “...” を追加することを除いて普通の関数の定義と変わらない。また，可変長引数関数を呼び出す側では，普通の関数を呼び出す時と同じように，関数を定義しなければならない。宣言の方法は，関数の型に続いて “関数名 (...)” を書く。可変長引数関数が呼び出されると，呼出時に渡された引数の個数が，特別な変数 nargs にセットされる。

8.5　関数呼び出し (matx)

関数は名前で呼ぶが，その後には丸括弧内に引数を並べたものを付ける。引数がなくても丸括弧は省略できない。宣言されているが定義されていない関数が呼び出されれると，

1. その関数が require 修飾子付きで宣言されている場合，指定されたファイルが読み込まれる。ただし，ファイルが相対パスで指定されている場合，ファイルは，カレントディレクトリ，環境変数 MATXINPUTS が定義されていれば，そのディレクトリ群，デフォルト **mm** ファイルディレクトリの順番に探索される。

2. その関数が require 修飾子付きで宣言されていない場合，関数名と同じ mm ファイルが探索されて読み込まれる。mm ファイルは，カレントディレクトリ，環境変数 MATXINPUTS が定義されていれば，そのディレクトリ群，デフォルト **mm** ファイルディレクトリの順番に探索される。

MATXINPUTS で指定されたディレクトリ群とデフォルト **mm** ファイルディレクトリは再帰的に検索される。環境変数 LANG に ja，japanese，ja_JP.xxx が設定されていて，各ディレクトリに ja というディレクトリが存在すれば，そこが先に検索される。環境変数 MATXINPUTS には，コロン ":" で区切って複数のパスを指定することができるが，この環境変数を指定した場合，デフォルトの mm ファイルディレクトリは，探索されなくなる。デフォルトの mm ファイルディレクトリも探索して欲しい場合は，環境変数にデフォルトの mm ファイルディレクトリを指定する必要がある。

8.6　関数の引数渡し

関数の間でデータをやりとりする 1 つの方法は，呼び出しを行なう関数から相手の関数に対し，引数と呼ばれる値のリスト渡すやり方である。整数，

実数，文字列，複素数は，値渡しされ，行列，有理多項式，有理関数，リストは，参照渡しされる。

```
Func void main()
{
    Matrix a;
    void foo();

    a = [1];
    print a;        // a = [1]
    foo(a);
    print a;        // a = [2]
}

Func void foo(b)
    Matrix b;
{
    print b;        // b = [1]
    b = [2];
    print b;        // b = [2]
}
```

8.7　return 文

return 文は呼ばれた関数の値を，呼んだプログラムに返すための機構である。void 型以外の関数の場合，return の後ろには任意の式を書いてよい。呼ぶ側の関数は，望むなら戻り値を無視することもできる。ただし，void 型の関数の場合，return の後ろに式を書いてはならず，void 型以外の関数の場合，return の後ろの式を省略できない。

```
return;        // void 関数
return expr;   // void 以外の関数
```

8.8　関数の参照

MATX では，関数それ自身は変数ではないが，関数の参照を関数の引数として渡すことができる。関数の参照は，関数の名前と同じように使える。ただし，C 言語の関数のポインタに対応するような記述方法はない。

```
Func void main()
{
  Matrix a;
  void foo(), bar();

  a = [[1 2][3 4]];
  foo(bar, a);
}

Func void foo(afo, a)
  void afo();
  Matrix a;
{
  afo(a);
}

Func void bar(a)
  Matrix a;
{
  print a;
}
```

8.9　コマンドラインの引数

コマンドラインの引数は，関数 main() にリストの形で引数として渡される。リストの全ての成分は文字列であり，1 番目の成分はコマンド名である。整数や実数をコマンドラインで渡すには，リストの成分を取り出してクラス変換関数で変換して利用する。例えば，


```
Func void main(argc, argv)
    Integer argc;
    List argv;
{
    Integer a, b;

    print "Command Name is", argv(1, String), ".\n";
    a = Integer(argv(2, String));
    b = Integer(argv(3, String));
    print a + b;
}
```

は，コマンド名と第 1 引数と第 2 引数の和を計算して表示する。

第9章　制御の流れ

MATX の制御の流れは，C 言語 [7, 20, 8, 22] の制御の流れとよく似ている。

9.1　If-Else

判定を行なう時は，if-else 文を用いる。if-else 文を用いる場合は，if-else の else 部は省略可能である。したがって，入れ子 (ネスト) になった if の連続で else が省略された場合，構文があいまいになってしまう。else を if に正しく関係付けるために大カッコ “{” と “}” を用い，省略することはできない。インタプリタは 1 行毎に解釈を行なうので，else 部が存在する時，else 部は if 部の最終行から始めなければならない。

```
if (expr) {
    statement-1;
} else {
    statement-2;
}
```

この if では，まず expr が計算される。それが真 (すなわち expr が 0 でない) であれば statement-1 が実行される。それが偽 (すなわち expr が 0) であり，かつ else 部が存在すれば statement-2 が実行される。

9.2　For ループ, While ループ

```
while (expr) {
    statements;
}
```

では，まず expr が計算される。expr が 0 でないとき，statement が実行され，expr が再度評価される。このサイクルは expr が 0 になるまで続けられ，その時点で実行は statement の次に移る。for 文

```
for (expr1; expr2; expr3) {
    statements;
}
```

は以下に等しい。

```
expr1;
while (expr2) {
    statements;
    expr3;
}
```

文法的には for の三つの要素は式である。一般的には式 1 と式 3 は代入または関数呼び出しであり，式 2 は関係式である。三つのどの部分のどれを省略してもよいが，セミコロンは省力してはならない。テスト部 (式 2) が省略されたら，それは永久に真とみなされる。したがって

```
for (;;) {
    statements;
}
```

は “無限” ループであり，脱出は，他の手段 (例えば break や return) によることになる。

9.3 Do-whileループ

do-whileループでは，ループ本体を通る各パスを終ったあとにテストが行なわれる。ループ本体はつねに，少なくとも1回は実行される。その構文は

```
do {
    statements;
} while (expr) ;
```

ここでは，まずstatementsが実行された後，exprが計算される。それが真ならば，statementsは再び実行される。このループが終了するのは，exprが偽になったときである。

9.4 Switch文

switch文は，ある式が複数の値の1つと一致しているかどうかテストし，それに応じて分岐する特別の多分岐判断機構である。

```
switch (exp) {
 case int_1: statements;
 case int_2: statements;
 ....................
 case int_n: statements;
 default: statements;
}
```

switch文は，括弧内の整数式を計算し，その値を全てのcaseと比較する。各caseには，整数定数の式で名札をつけなければならない。あるcaseが式の値と一致すれば，実行はそのcaseで始められる。defaultのラベルのついたcaseは，他のいずれのcaseも満足されない時に実行される。

break文スイッチから直接抜け出る手段である。caseは単に名札として働くから，1つのcaseプログラムが終了したのち，抜け出すための明示的な動作がなければ，実行は次のcaseへ移る。

9.5 Break文とContinue文

先頭または最後でテストする以外，時によっては，ループからの脱出を制御できる方が便利な場合がある。

```
break;
```

break文は，for，whileから早く抜け出るための方法である。このbreak文を使うと，最も内側のループから直ちに抜け出すことができる。

```
continue;
```

次にcontinue文はbreak文と関係しているが，使われることは少ない。これは，囲んでいるforあるいはwhileループの次の繰り返しを開始させるためのものである。whileループにおいては，これはテスト部分を直ちに実行することを意味する。

第10章　整数と実数

MATX は，整数と実数を区別して処理する。1 は整数であり，1.0 は実数である。MATX では他の多くの言語と同様，整数の割算では切捨てが行なわれる。そして，実数は全て倍精度で計算される。

[宣言]

```
Integer a, b, c;
Real aa, bb, cc;
```

[例]

```
0, 3, -4                    // 整数
0., 0.0, 3., 3.0, -4. -4.0  // 実数
3E4, 3.E4., 3e4, 3.e4.      // 実数
```

以下の実数定数があらかじめ定義されている。

```
PI    =  3.14159265358979323846; // Circumf./Diameter
PID   =  ??????;                 // Process ID
EPS   =  pow(2.0, -54.0);        // Machine Epsilon
Inf   =  Infinity;               // Infinity
                                 // 正の無限大であり
                                 // 1.0/0.0 等の結果
NaN   =  NaN;                    // Not a Number
                                 // 0.0/0.0 等の結果
```

10.1　整数定数

整数型の定数である。数字の 0(ゼロ) 以外の数字で始まる数字の列は **10** 進数を表す。0 または 0 で始まる数字の列は **8** 進数を，数字のゼロとエックス 0x または 0X で始まる数字の列は **16** 進数を表す。

[例]


```
  010(8),  0100(64),    0xA(10),
0x10(16),  0x1c(28),  0xff(255)
```

10.2　整数と実数の比較

関係演算子 >, >=, <, <=, ==, != を使って，2 つの整数 (実数) を比較することができ，結果は，1(真) または 0(偽) となる。

表 記	意 味
i1 > i2	整数 i1 は整数 i2 より大きい
i1 >= i2	整数 i1 は整数 i2 以上である
i1 < i2	整数 i1 は整数 i2 より小さい
i1 <= i2	整数 i1 は整数 i2 以下である
i1 == i2	整数 i1 と整数 i2 は等しい
i1 != i2	整数 i1 と整数 i2 は等しくない
r1 > r2	実数 r1 は実数 r2 より大きい
r1 >= r2	実数 r1 は実数 r2 以上である
r1 < r2	実数 r1 は実数 r2 より小さい
r1 <= r2	実数 r1 は実数 r2 以下である
r1 == r2	実数 r1 と実数 r2 は等しい
r1 != r2	実数 r1 と実数 r2 は等しくない

次の式は-a が正である (0 より大きい) かどうか調べる意図で書かれているが，<と-の間にスペースが無いので，まとめて<-として解釈され，文法エラーになる。 <と-の間にスペースを入れると意図通りに解釈される。

```
print 0<-a;
```

10.3　整数関数

整数関数の一覧を以下に示す。

```
Integer i, i2;
Real tol;

Integer bit_and(i1, i2)     ビット毎の AND (i1 & i2)
Integer bit_comp(i1)        1 の補数 (~i1)
Integer bit_or(i1, i2)      ビット毎の OR (i1 | i2)
Integer bit_xor(i1, i2)     ビット毎の排他的 OR (i1 ^ i2)
Integer bit_lshift(i1, i2) i2 ビット左シフト (i1 << i2)
Integer bit_rshift(i1, i2) i2 ビット右シフト (i1 >> i2)
Integer rem(i1, i2)         割算の余り (i1 % i2)
Real    rem(i1, r2)         割算の余り (i1 - r2*fix(i1/r2))
Real    rem(r1, i2)         割算の余り (r1 - i2*fix(r1/i2))
Integer max(i1, i2)         最大値
Integer min(i1, i2)         最小値
Integer sgn(i1)             符合関数 (i1 > 0, 1;
                                      i1 = 0, 0;
                                      i1 < 0, -1)
Integer pow(i1, i2)         i1^i2
Integer fact(i1)            i1 の階乗
Integer trans(i1)           i1'
Integer conj(i1)            i1 の共役
Integer conjtrans(i1)       i1#
Integer inv(i1)             i1~  (いつもゼロ)
Integer round2z(i1)         ゼロへの丸め (tol = EPS)
Integer round2z(i1, tol)    ゼロへの丸め

Integer c, fd;
```



```
String path, format, mode;

String int2str(c)           ASCII コード c の文字を文字列に
                            変換する。
Integer kbhit()             標準入力にデータがあるかどうか
                            調べる。1: 有, 0: 無
Integer getch()             標準入力からエコー無しで 1 文字取
                            り込み, その文字コードを返す。
Integer fopen(path, mode);   ファイルオープン
Integer fclose(fd);                ファイルクローズ
Integer printf(format, ...);        画面表示 (matx)
Integer fprintf(fd, format, ...)    ファイル出力
                                    fd は fopen() の返り値
Integer fprintf(file, format, ...);
                                    ファイル出力
                                    file に追加される
List    scanf(format, ...);         キーボードから入力
List    fscanf(fd, format, ...);    ファイル入力
String  sprintf(format, ...);       文字列変換
```

10.4　実数関数

実数関数の一覧を以下に示す。関数の引数は実数でなければならないので, 整数を引数として渡すにはクラス変換関数 Real() によって実数に変換する。

```
Integer i1;
Real r1, r2, x, y, tol;

Real rem(r1, r2)            割算の余り
                            (r1 - r2*fix(r1/r2))
```

`Real rem(i1, r2)`	割算の余り
	`(i1 - r2*fix(i1/r2))`
`Real rem(r1, i2)`	割算の余り
	`(r1 - i2*fix(r1/i2))`
`Real max(r1, r2)`	最大値
`Real min(r1, r2)`	最小値
`Real sin(r1);`	正弦関数
`Real sinh(r1);`	双曲線正弦関数
`Real asin(r1);`	逆正弦関数
`Real asinh(r1);`	逆双曲線正弦関数
`Real cos(r1);`	余弦関数
`Real cosh(r1);`	双曲線余弦関数
`Real acos(r1);`	逆余弦関数
`Real acosh(r1);`	逆双曲線余弦関数
`Real tan(r1);`	正接関数
`Real tanh(r1);`	双曲線正接関数
`Real atan(r1);`	逆正接関数
`Real atanh(r1);`	逆双曲線正接関数
`Real atan2(y, x);`	逆正接関数
`Real abs(r1);`	絶対値
`Real exp(r1);`	指数関数
`Real sqrt(r1);`	平方根
`Real log(r1);`	自然対数
`Real log10(r1);`	常用対数
`Real rand();`	`0.0` と `1.0` の間の一様乱数
`Integer rand("seed")`	一様乱数の種
`Integer rand("seed", il)`	一様乱数の種の変更
`Real randn();`	平均 `0`，分散 `1` の正規乱数
`Integer randn("seed")`	正規乱数の種
`Integer randn("seed", il)`	正規乱数の種の変更

`Real ceil(r1);`	最高値の整数への丸め関数
`Real fact(r1);`	階乗
`Real floor(r1);`	最低値の整数への丸め関数
`Real fix(r1);`	`0` 方向の整数への丸め関数
`Real round(r1);`	最も近い整数への丸め関数
`Real round2z(r1)`	ゼロへの丸め `(tol = EPS)`
`Real round2z(r1, tol)`	絶対値が `tol` より小なら `0`
`Real sgn(r1);`	符合関数 `(r1 > 0.0, 1.0;`
	`r1 = 0.0, 0.0;`
	`r1 < 0.0, -1.0)`
`Integer finite(r1);`	有限関数
	もし `r1` が有限値なら `1`
	無限大あるいは `NaN` なら `0`
`Integer isnan(r1);`	もし `r1` が `NaN` なら `1`
	それ以外なら `0`
`Real pow(r1, r2)`	`r1^r2`
`Real trans(r1)`	`r1'`
`Real conj(r1)`	`r1` の共役
`Real conjtrans(r1)`	`r1#`
`Real inv(r1)`	`r1~`

```
Integer fd;
String file, format;
```

`Integer printf(format, ...);`	画面表示 `(matx)`
`Integer fprintf(fd, format, ...);`	ファイル出力
	`fd` は `fopen()` の返り値
`Integer fprintf(file, format, ...);`	ファイル出力
	`file` に追加される

```
List    scanf(format, ...);          キーボードから入力
List    fscanf(fd, format, ...);     ファイル入力
String  sprintf(format, ...);        文字列変換
```

第11章　複素数

[宣言]

```
Complex a, b, c;
```

[例]

```
(1, 2), (3.0, 4.0), (0, 1)
```

11.1　複素数の記述方法

一対の実数をコンマ，で区切って丸括弧（と）で囲むことによって複素数を記述することができる。実部または虚部だけを指定し，もう一方に * を指定して複素数を記述することもできる。成分が整数の時，自動的に実数に変換される。丸括弧（と）とコンマ “,” を合わせて複素オペレータと呼ぶ。複素オペレータを用いた複素値の記述方法については，複素値の章を参照。

```
c1 = (r1,r2)  // c1 = r1 + r2*i;  (r1 と r2 は，実数)
c1 = (r1, *)  // c1 = r1 + 0*i;   (r1 は，実数)
c1 = (*, r1)  // c1 = 0  + ri*i;  (r1 は，実数)
```

複素数の実部と虚部は，関数 Re() と Im() を用いて取り出すことができる。

```
r1 = Re((r1, r2));  // 実部 = Re(複素数)
r2 = Im((r1, r2));  // 虚部 = Im(複素数)
```


虚数単位 (Imaginary Unit) は以下の 2 つの方法で定義することができる。

```
i = (0, 1);
i = sqrt(-1);
```

11.2　複素数の比較

関係演算子 ==, != を使って，2 つの複素数を比較することができ，結果は，1(真) または 0(偽) となる。

表 記	意 味
c1 == c2	複素数 c1 と複素数 c2 は等しい
c1 != c2	複素数 c1 と複素数 c2 は等しくない

11.3　複素数関数

複素数関数の一覧を以下に示す。

```
Complex c1;
Real tol;

Integer finite(c1);          有限関数
                             もし c1 が有限値なら 1
                             無限大あるいは NaN なら 0
Integer isnan(c1);           もし c1 が NaN なら 1
                             それ以外なら 0
Real    abs(c1);             絶対値
Real    arg(c1);             偏角
Comlex  max(c1, c2);         最大値
Comlex  min(c1, c2);         最小値
```

Complex sin(c1);	正弦関数
Complex sinh(c1);	双曲線正弦関数
Complex asin(c1);	逆正弦関数
Complex asinh(c1);	逆双曲線正弦関数
Complex cos(c1);	余弦関数
Complex cosh(c1);	双曲線余弦関数
Complex acos(c1);	逆余弦関数
Complex acosh(c1);	逆双曲線余弦関数
Complex tan(c1);	正接関数
Complex tanh(c1);	双曲線正接関数
Complex atan(c1);	逆正接関数
Complex atanh(c1);	逆双曲線正接関数
Complex log(c1);	自然対数
Complex log10(c1);	常用対数
Complex exp(c1);	指数関数
Complex conj(c1);	共役複素数
Complex sqrt(c1);	平方根
Complex sgn(c1);	符合関数 (c1/abs(c1))
Complex pow(c1, c2)	c1^c2
Complex trans(c1)	c1'
Complex conj(c1)	c1 の共役
Complex conjtrans(c1)	c1#
Complex inv(c1)	c1~
Complex ceil(c1)	最高値の整数への丸め関数
Complex floor(c1)	最低値の整数への丸め関数
Complex fix(c1)	0 方向の整数への丸め関数
Complex round(c1)	最も近い整数への丸め関数
Complex round2z(c1)	ゼロへの丸め (tol = EPS)
Complex round2z(c1, tol)	絶対値が tol より小なら 0

第12章　文字列

任意個の文字の列を二重引用符 " と " で囲んで記述する。タブと改行はそれぞれ \t と \n で表す。+ 演算子で文字列を結合できる。

[宣言]

```
String a, b, c;
```

[例]

```
"FileName", "File\tName\n"
"Hello" + " " + "world"              // "Hello world"
```

12.1　文字列の成分の取り出し

S(1)　　S の 1 番目の文字からなる文字列
S(2:4)　S の 2 番目から 4 番目の文字からなる文字列

12.2　文字列の成分の代入

S(1) = "A"　　S の 1 番目に右辺の文字を代入
S(2:4) = "AB"　S の 2 番目から 4 番目に右辺の文字を代入

12.3　文字列の比較

関係演算子 ==, != を使って，2 つの文字列を比較することができ，結果は，1(真) または 0(偽) となる。

表 記	意 味
文字列 1 == 文字列 2	文字列 1 と文字列 2 は等しい
文字列 1 != 文字列 2	文字列 1 と文字列 2 は等しくない

12.4　文字列から指定文字の位置を調べる

ある文字列中に指定した 1 文字が存在するか，存在するなら何文字目であるかを関数 strchr() にって調べられる。関数 strchr() の第一引数は対象となる文字列，第二引数は調べたい 1 文字を指定する。もし，対象文字列に指定した文字が存在しない場合，関数 strchr() は 0 を返す。例えば，

```
str = "Hello world";
id1 = strchr(str, "w");
id2 = strchr(str, "A");
```

を実行すると，id1 = 7，id2 = 0 の結果を得る。

12.5　文字列の評価 (matx)

関数 eval() を用いて，MATX の任意のコ- ドからなる文字列を評価することができ，関数の戻り値は評価結果と一致する。すなわち，関数の戻り値の型は，評価する文字列に依存する。式以外のコ- ドを評価したときは，常に整数 0 を返す。例えば，

```
Real a, b, c;
Matrix A, B, C;

a = 1.0; b = 2.0;
A = [[1 2][3 4]]; B = [[5 6][7 8]];

c = eval("a + b");
C = eval("A + B");
```

において，eval("a + b") は，実数 a と b の和の結果を返すのに対して，eval("A + B") は，行列 A と B の和の結果を返す。

また，次の例に示すように eval() を関数内で用いると，プログラムのデバッグを効率的に行なうことができる。

```
Func void afo()
{
  String cmd;

  ...................

  for (;;) {
    read cmd;
    if (cmd == "q") {
      break;
    }
    eval(cmd);
  }

  ...................
}
```

関数内で eval() を使うとき，引数として文字列"who"と"whos"を用いると，その関数の局所変数と大域変数の両方を参照することができる。

```
Func void afo()
{
  ...................

  eval("who");
  eval("whos");

  ...................
}
```


12.6　文字列への変換

MATX のいろいろなオブジェクト (整数，実数，複素数，多項式) を文字列に変換する方法を紹介する。まず，型変換関数 String() により 1 個のオブジェクトを文字列に変換できる。以下に例を示す。

```
is = String(1);                     // 整数
rs = String(3.14);                  // 実数
cs = String((3,4));                 // 複素数
ps = String(2.1*$^2 + 3.2*$ + 4);   // 多項式
```

そして，関数 sprintf() を用いると複雑な文字列変換が可能となる。以下に例を示す。

```
G = ($+1)/($^2 + 3*$ + 4);
Gs = sprintf("(%s)/(%s)", String(Nu(G)), String(De(G)));
```

関数 int2str() は ASCII コードを文字列に変換する。例えば，文字 A，B，C の ASCII コードは 65, 66, 67 であるから

```
str = int2str(65) + int2str(66) + int2str(67);
```

の結果，str には文字列 ABC が代入される。型変換関数 String() を用いれば，ASCII コードからなる行列を文字列に変換できる。上の例は

```
str = String([65 66 67]);
```

のように置き換えられる。また，型変換関数 Matrix() を用いれば，文字列を ASCII コードからなる行列に変換できる。上の例の逆変換は

```
a = Matrix("ABC");
```

であり，行列 a には [656667] が代入される。

12.7　文字列関数

文字列関数の一覧を以下に示す。書式付き出力関数 printf(), sprintf(), fprintf() を使って，整数，実数，文字列を書式を指定して出力することができる。書式文字列には C 言語の printf() のそれと同じものを使う。関数 fprintf() と fscanf() の第 1 引数は，fopen() でオープンしたファイルのファイルディスクリプタを用い，sscanf() の第 1 引数は，読み取りを行う文字列を指定する。

```
Integer printf(String format, ...);          画面表示 (matx)
Integer fprintf(Integer fd, String format, ...); ファイル出力
                                        fd は fopen() の返り値
Integer fprintf(String file, String format, ...); ファイル出力
                                        file に追加される
List    scanf(String format);                キーボードから入力
List    fscanf(Integer fd, String format);   ファイル入力
List    sscanf(String str, String format);   文字列からの読み取
String  sprintf(String format, ...);         文字列変換
Integer length(String str);                  文字列の長さ
String  int2str(Integer c);              ASCII コード c の文字
                                        を文字列に変換する。
Matrix  abs(String str);                ASCII コードからなる行列
```

第13章　多項式

実数と複素数を係数とする 1 変数の多項式の数式処理を行なうことができる。今のところ，多項式の係数は，昇べきの順に横ベクトルとして保存されている。

[宣言]

```
Polynomial   a, b, c;    // 実多項式
CoPolynomial a2, b2, c2; // 複素多項式
```

[例]

```
2*s^2 + 3*s + 4,  (1,2)*s^2 + (3,4)*s + (5,6)
```

13.1　多項式の記述方法

多項式は，多項式変数をドル記号 $ を用いて定義し，その変数を用いて記述する。多項式の係数が整数の時，自動的に実数に変換される。1 次の多項式の変数名には，任意の名前を使うことができるが，出力される多項式の変数名は，常に s である。クラス変換関数 Polynomial() と Matrix() を使って横ベクトルと多項式を相互に変換できる。多項式の係数は，横ベクトルの成分と昇べきの順に一致する。

```
s = $;                      // 1 次の係数が 1 の 1 次多項式
P1 = 2*s^2 + 3*s + 4;       // 2 次の実多項式
P2 = Polynomial([4 3 2]); // P2 = 2*s^2 + 3*s + 4
CP1 = (1,2)*s + (3,4);      // 1 次の複素多項式
```


13.2　複素多項式

複素多項式の入力方法には，複素数を係数として記述する方法と一対の実多項式をコンマで “,” 区切って丸括弧（ と ）で囲む方法がある。実部または虚部だけを指定し，もう一方に * を指定して複素多項式を記述することもできる。

```
CP1 = (P1,P2);  // CP1 = P1 + P2*i; (P1, P2: 実多項式)
CP1 = (P1,*);   // CP1 = P1 + 0*i;  (P1: 実多項式)
CP1 = (*,P1);   // CP1 = 0  + P1*i; (P1: 実多項式)
```

複素多項式の実部と虚部は，関数 Re() と Im() を用いて取り出すことができる。

```
P1 = Re((P1,P2));  // 実部多項式 = Re(複素多項式)
P2 = Im((P1,P2));  // 虚部多項式 = Im(複素多項式)
```

13.3　多項式の係数の参照

多項式の名前の次に次数を丸括弧（ と ）で囲むことによって多項式の係数を参照することができる。ただし，複素多項式の係数には実数と複素数を代入できるが，実多項式の係数には実数しか代入できない。また，定義されている次数以上の係数を参照することはできない。

```
r1 = P1(1);   // 実多項式 P1 の 1 次の係数
c1 = CP1(2);  // 複素多項式 CP1 の 1 次の係数
P1(0) = r2;   // 実数 r1 を多項式 P1 の 0 次の係数に代入
CP1(3) = c2;  // 複素数 c1 を多項式 CP1 の 3 次の係数に代入
```

13.4　多項式の評価

関数 eval() を用いて，多項式の変数にいろいろなクラスの値を代入した結果を求めることができる。

```
s = $;
P1 = 3*s^2 + 4*s + 5;
r1 = eval(P1, 2.0);   // 2.0 を代入
P2 = eval(P1, s + 1); // 多項式"s + 1"代入
A2 = eval(P1, [1:3]); // (1, 2, 3) を代入
M2 = eval(P1, M);     // 3*M^2 + 4*M + 5*I(M)
```

多項式の評価に伴うクラス変換の規則を以下に示す。

```
実数        = eval(実多項式，実数)
複素数      = eval(実多項式，複素数)
複素数      = eval(複素多項式，実数)
複素数      = eval(複素多項式，複素数)
実多項式    = eval(実多項式，実多項式)
複素多項式  = eval(複素多項式，実多項式)
複素多項式  = eval(実多項式，複素多項式)
実行列      = eval(実多項式，実行列)
複素行列    = eval(複素多項式，実行列)
複素行列    = eval(実多項式，複素行列)
複素行列    = eval(複素多項式，複素行列)
実配列      = eval(実多項式，実配列)
複素配列    = eval(複素多項式，実配列)
複素配列    = eval(実多項式，複素配列)
複素配列    = eval(複素多項式，複素配列)
```


13.5　多項式の微分と積分

多項式の微分と積分は，関数 derivative() と integral() を用いる。第 2 引数に求める導関数 (derivative) あるいは不定積分 (indefinite integral) の階数を指定するが，階数を省略すると 1 階の導関数または不定積分を求める。

```
s = $;
P1 = 3*s^2 + 4*s + 5;
P2 = integral(P1);     // 2 次の実多項式の 1 階不定積分
P2 = integral(P1,2);   // 2 次の実多項式の 2 階不定積分
P3 = derivative(P2);   // 2 次の実多項式の 1 階導関数
P3 = derivative(P2,2)  // 2 次の実多項式の 2 階導関数
```

13.6　多項式の係数のシフト

多項式の係数を高次方向と低次方向にシフトするには，関数 higher() と lower() をそれぞれ用いる。第 2 引数にシフトする回数を指定するが，回数を省略すると 1 回のシフトを意味する。

```
s = $;
P1 = 3*s^2 + 4*s + 5;
P2 = higher(P1);    // 係数を高次方向に 1 回シフト
P2 = higher(P1,2);  // 係数を高次方向に 2 回シフト
P3 = lower(P2);     // 係数を低次方向に 1 回シフト
P3 = lower(P2,2);   // 係数を低次方向に 2 回シフト
```

13.7　多項式の比較

関係演算子 ==と!= を使って，つの多項式を比較することができ，結果は，1(真) または 0(偽) となる。

表 記	意 味
P1 == P2	多項式 P1 と P2 は等しい
P1 != P2	多項式 P1 と P2 は等しくない

13.8　多項式関数

多項式関数の一覧を以下に示す。

```
Polynomial P1;
Integer i1;
Real tol;

Matrix  roots(P1);          多項式の根
Integer degree(P1);         多項式の次数
Integer isreal(P1);         実多項式の有無
                            (真 = 1, 偽 = 0)
Integer iscomplex(P1);      複素多項式の有無
                            (真 = 1, 偽 = 0)

Polynomial floor(P1)        係数の最低値の整数への丸め
Polynomial ceil(P1)         係数の最高値の整数への丸め
Polynomial fix(P1)          係数の 0 方向の整数への丸め
Polynomial round(P1)        係数の最も近い整数への丸め
Polynomial round2z(P1)      係数の 0 への丸め (tol = EPS)
Polynomial round2z(P1, tol) 係数の絶対値が tol より小なら 0
Polynomial pow(P1, i1)      P1^i1
Polynomial trans(P1)        P1'
Polynomial conj(P1)         P1 の共役
Polynomial conjtrans(P1)    P1#
Rational   inv(P1)          P1~
```

第14章　有理多項式

実数と複素数を係数とする 1 変数の有理多項式の数式処理を行なうことができる。

[宣言]

```
Rational   a, b, c;      // 実有理多項式
CoRational a2, b2, c2;   // 複素有理多項式
```

[例]

```
(s + 2)/(2*s + 3),  (1,2)/((3,4)*s + (5,6))
```

14.1　有理多項式の記述方法

有理多項式は多項式の割算として記述する。出力される有理多項式の変数名は，常に s である。

```
s = $;
R1 = (s + 2)/(2*s + 3);          // 1 次の実有理多項式
CR1 = (1,2)/((3,4)*s + (5,6)); // 1 次の複素有理多項式
```

14.2　複素有理多項式

複素有理多項式の入力方法には，複素数を係数として記述する方法と一対の実有理多項式をコンマ “,” で区切って丸括弧（ と ）で囲む方法がある。実部または虚部だけを指定し，もう一方に * を指定して複素有理多項式を記述することもできる。


```
CR1 = (R1,R2); // CR1 = R1 + R2*i; (R1, R2: 実有理多項式)
CR1 = (R1,*);  // CR1 = R1 + 0*i;  (R1: 実有理多項式)
CR1 = (*,R1);  // CR1 = 0  + R1*i; (R1: 実有理多項式)
```

複素有理多項式の実部と虚部は，関数 Re() と Im() を用いて取り出すことができる。

```
R1 = Re((R1,R2));  // 実部有理多項式 = Re(複素有理多項式)
R2 = Im((R1,R2));  // 虚部有理多項式 = Im(複素有理多項式)
```

有理多項式の実部と虚部は以下の方法で計算される。

$$\mathrm{Re}\left(\frac{a+bi}{c+di}\right)=\frac{ac+bd}{c^2+d^2},\quad \mathrm{Im}\left(\frac{a+bi}{c+di}\right)=\frac{bc-ad}{c^2+d^2}$$

ただし，a, b, c, d は実多項式である。

$$\mathrm{Re}\left(\frac{a+bi}{c+di}\right)=\frac{(a+bi)(c-di)}{(c+di)(c-di)}=\frac{ac+bd}{c^2+d^2}+\frac{bc-ad}{c^2+d^2}i$$

14.3　有理多項式の分子多項式と分母多項式

有理多項式の分子多項式と分母多項式は，関数 Nu() と De() を用いて取り出すことができる。

```
P1 = Nu(P1 / P2);  // 分子多項式 = Nu(有理多項式)
P2 = De(P1 / P2);  // 分母多項式 = De(有理多項式)
```

14.4　有理多項式の次数の増加

有理多項式の演算は次の規則に従って行なわれ，分子多項式と分母多項式の共通項のキャンセルは行なわれないので，次数の増加に注意する必要がある。

$$\frac{a}{b}+\frac{c}{c}=\frac{a\cdot c+b\cdot c}{b\cdot c} \quad , \quad \frac{a}{b}-\frac{c}{c}=\frac{a\cdot c-b\cdot c}{b\cdot c}$$

$$\frac{a}{b}*\frac{c}{c}=\frac{a\cdot c}{b\cdot c} \quad , \quad \frac{a}{b}/\frac{c}{c}=\frac{a\cdot c}{b\cdot c}$$

14.5　有理多項式の評価

関数 eval() を用いて，有理多項式の変数にいろいろなクラスの値を代入した結果を求めることができる。

```
s = $;
R1 = (s + 2)/(2*s + 3);
r1 = eval(R1, 2.0);          // 2.0 を代入
R2 = eval(R1, s + 1);        // s+1 を代入
R2 = eval(R1, (s+1)/(s+2)); // (s+1)/(s+2) を代入
A2 = eval(R1, [1:4]);        // (1,2,3,4) を代入
M2 = eval(R1, M);            // (M+2*I(M))/(s*M+3*I(M)
```

有理多項式の評価に伴うクラス変換の規則を以下に示す。

実数	= eval(実有理多項式，実数)
複素数	= eval(実有理多項式，複素数)
複素数	= eval(複素有理多項式，実数)
複素数	= eval(複素有理多項式，複素数)
実有理多項式	= eval(実有理多項式，実多項式)
実有理多項式	= eval(実有理多項式，実有理多項式)
複素有理多項式	= eval(実有理多項式，複素多項式)
複素有理多項式	= eval(複素有理多項式，実多項式)
複素有理多項式	= eval(実有理多項式，複素有理多項式)
複素有理多項式	= eval(複素有理多項式，実有理多項式)
複素有理多項式	= eval(複素有理多項式，複素有理多項式)
実行列	= eval(実有理多項式，実行列)
複素行列	= eval(複素有理多項式，実行列)
複素行列	= eval(実有理多項式，複素行列)
複素行列	= eval(複素有理多項式，複素行列)
実配列	= eval(実有理多項式，実配列)
複素配列	= eval(複素有理多項式，実配列)
複素配列	= eval(実有理多項式，複素配列)
複素配列	= eval(複素有理多項式，複素配列)

14.6　有理多項式の微分

有理多項式の微分は，関数 derivative() を用いる。有理多項式の積分は，今のところ実現されていない。第 2 引数に求める導関数の階数を指定するが，階数を省略すると 1 階の導関数を求める。

```
s = $;
R1 = (s + 2)/(2*s + 3);
R2 = derivative(R1);        // 実有理多項式の 1 階導関数
R2 = derivative(R1,2);      // 実有理多項式の 2 階導関数
```

14.7　有理多項式の係数のシフト

有理多項式の係数を高次方向と低次方向にシフトするには，関数 higher() と lower() をそれぞれ用いる。第 2 引数にシフトする回数を指定するが，回数を省略すると 1 回のシフトを意味する。

```
s = $;
R1 = (s + 2)/(2*s + 3);
R2 = higher(R1);        // 係数を高次方向に 1 回シフト
R2 = higher(R1,2);      // 係数を高次方向に 2 回シフト
R3 = lower(R2);         // 係数を低次方向に 1 回シフト
R3 = lower(R2,2);       // 係数を低次方向に 2 回シフト
```

14.8　有理多項式の比較

関係演算子 ==, != を使って，2 つの有理多項式を比較することができ，結果は 1(真) または 0(偽) となる。

表 記	意 味
R1 == R2	有理多項式 R1 と R2 は等しい
R1 != R2	有理多項式 R1 と R2 は等しくない

14.9　有理多項式関数

有理多項式関数の一覧を以下に示す。

```
Rational R1;
Integer i1;
Real tol;

Matrix  zeros(R1);          有理多項式の零点
Matrix  poles(R1);          有理多項式の極
Integer isreal(R1);         実有理多項式の有無
                            (真 = 1, 偽 = 0)
Integer iscomplex(R1);      複素有理多項式の有無
```



```
                            (真 = 1, 偽 = 0)

Rational floor(R1)          係数の最低値の整数への丸め
Rational ceil(R1)           係数の最高値の整数への丸め
Rational fix(R1)            係数の 0 方向の整数への丸め
Rational round(R1)          係数の最も近い整数への丸め
Rational round2z(R1)        係数の 0 への丸め (tol = EPS)
Rational round2z(R1, tol)   係数の絶対値が tol より小なら 0
Rational pow(R1, i1)        R1^i1
Rational trans(R1)          R1'
Rational conj(R1)           R1 の共役
Rational conjtrans(R1)      R1#
Rational inv(R1)            R1~
```

第15章　行列と配列と指数

行列と配列のデータ構造は全く一致し，複数のデータを 1 次元的または 2 次元的に保存するという性質は変わらない。行列の演算では代数的な行列演算が行なわれるのに対し，配列の演算では配列の各成分に対して演算が行なわれ，演算結果は各成分の演算結果を成分とする配列となる。計算の途中で一時的に行列を配列として扱う配列演算子 .*, ./, .\, .^ やスカラと行列や配列の演算においてスカラをその値で満たされた行列として扱う演算子 .+と .-がある。行列と配列はクラス変換関数 Matrix() と Array() によって相互変換できる。便利な添字記法を使えば，行・列・成分・部分行列を簡単に参照できる。

指数は整数を 1 次元的に並べたものであり，部分行列の取り出しや代入といった操作に使われる。クラス変換関数 Index() を使って行列や配列から指数を作れる。

[宣言]

```
Matrix A, B, C;       // 実行列
CoMatrix CA, CB, CC; // 複素行列
PoMatrix PA, PB, PC; // 多項式行列
RaMatrix RA, RB, RC; // 有理多項式行列

Array D, E, F;        // 実配列
CoArray CD, CE, CF;  // 複素配列
PoArray PD, PE, PF;  // 多項式配列
RaArray RD, RE, RF;  // 有理多項式配列

Index II, JJ;         // 指数
```

[例]

```
[[1 2][3 4]], [(1,2), (3,4)]                // 行列
Array([[1 2][3 4]]), Array([(1,2), (3,4)])  // 配列
Index([1 2 3 4]), Index([10 8 6 4 2])       // 指数
```


15.1　行列の記述方法

小さな行列の最も簡単な記述方法は，行列の成分をスペース，タブ，改行，コンマ “,” のいずれかで区切って書き並べ，四角ブラケット [と] で囲むことである。ただし，マイナス単項演算子 $(-)$ を含む成分は，コンマ “,” で区切るか，括弧で囲まなければならない。A = [] は，0×0 の行列を意味する。四角ブラケット [と] は，行の始まりと終りを示すためにも使われる。各成分の間には，任意個のスペースと改行を挿入することができるので，プログラムが読み易くなるように記述することができる。一方，大きな行列は，小さな行列を成分として構成する。

例えば，3×3 の実数行列は，次のように

```
A = [[1 2 3][4 5 6][7 8 9]];
```

あるいは，もっと自然な様式

```
A = [[1 2 3]
     [4 5 6]
     [7 8 9]];
```

で記述でき，結果は

```
=== [A] : (  3,  3) ===
            (  1)          (  2)          (  3)
(  1)  1.000000E+00  2.000000E+00  3.000000E+00
(  2)  4.000000E+00  5.000000E+00  6.000000E+00
(  3)  7.000000E+00  8.000000E+00  9.000000E+00
```

となる。

15.1.1　行列成分の変換規則

行列の成分に異なるクラスの値が存在する時，以下の規則に従って自動変換が行なわれる。

1. 成分の整数は全て実数に変換される。
2. 成分に複素数又は複素行列が存在する時，
   全ての成分は複素数に変換される。
3. 成分に多項式又は多項式行列が存在する時，
   全ての成分は多項式に変換される。
4. 成分に有理多項式または有理多項式行列が存在する時，
   全ての成分は有理多項式に変換される。

例外 成分が全て文字列の時，それらを結合した
文字列に変換される。
(Matlab との互換性のための規則であり，
一般ユ- ザは，使用すべきでない。)

ただし，成分中に式がある場合，式の解釈が行なわれた後，自動変換が行なわれる。次のような間違いを犯す可能性があるので，注意すること。

```
M1 = [1/2, 3/4, 4/5, 5/6];
```

この結果は，ユーザの予想と反して，1×4 の零行列となる。望みの結果を得るためには，

```
M1 = [1./2., 3./4., 4./5., 5./6.];
```

としなければならない。

15.1.2 行ベクトル

成分をスペース，タブ，改行，コンマ “,” のいずれかで区切って書き並べ，四角ブラケット [と] で囲む。


```
M1 = [];               // 0 x 0の行列
M1 = [1 2 3];          // スペースで区切る
M1 = [1 2 , -3];       // -単項演算子をカンマで区切る
M1 = [1 2 (-3)];       // -単項演算子を括弧で囲む
CM1 = [(1,2), (3,4)]; // 複素行ベクトル
```

15.1.3 列ベクトル

転置を意味する” ’ ”を用いて列ベクトルを記述する。

```
M1 = [1 2 3]';          // スペースで区切る
M1 = [1 2 , -3]';       // -単項演算子をカンマで区切る
M1 = [1 2 (-3) ]';      // -単項演算子を括弧で囲む
CM1 = [(1,2), (3,4)]'; // 複素列ベクトル
```

15.1.4 行列

行列は，行ベクトルを並べて記述する。

```
M1 = [[1 2 3][4,-5 6][7 (-8), -9]];

M1 = [[1  2     3]    CM1 = [[(1,2) (3,4)]
      [4 ,-5    6]           [(5,6) (7,8)]];
      [7 (-8), -9]];
```

15.2 いろいろな行列

いろいろな種類の行列を簡単に記述するための方法がたくさん用意されている。

15.2.1　零行列

ピース行列[1]を大きさの単位として使い，ピース行列の整数倍の大きな零行列を簡単に作ることができる。

```
M1 = Z(3);          3x3 の実零行列
M1 = Z(3, c);       3x3 の複素零行列,          c = 複素数
M1 = Z(3, P);       3x3 の実多項式零行列,      P = 実多項式
M1 = Z(3, CP);      3x3 の複素多項式零行列,    CP = 複素多項式
M1 = Z(3, R);       3x3 の実有理多項式零行列,   R = 実有理多項式
M1 = Z(3, CR);      3x3 の複素有理多項式零行列, CR = 複素有理多項式
M1 = Z(3, 4);       3x4 の実零行列,
M1 = Z(3, 4, c);    3x4 の複素零行列,          c = 複素数
M1 = Z(3, 4, P);    3x4 の実多項式零行列,      P = 実多項式
M1 = Z(3, 4, CP);   3x4 の複素多項式零行列,    CP = 複素多項式
M1 = Z(3, 4, R);    3x4 の実有理多項式零行列,   R = 実有理多項式
M1 = Z(3, 4, CR);   3x4 の複素有理多項式零行列, CR = 複素有理多項式
M2 = Z(M1);         M1 と同じ大きさで同じクラスの零行列
M2 = Z(3, M1);      M1 を横 3 個並べた大きさで同じクラスの零行列
M2 = Z(2, 3, M1);   M1 を縦 2 個に横に 3 個並べた大きさで
                    M1 と同じクラスの零行列)
```

15.2.2　単位行列

行列が非正方である時，対角成分のみ 1 で他の成分は 0 である。多項式行列の場合，対角成分のみ定数項が 1 である多項式になる。有理多項式行列の場合，対角成分のみ分子多項式と分母多項式の定数項が 1 である有理多項式になる。ピース行列を大きさの単位として使い，ピース行列の整数倍の大きな単位行列を簡単に作ることができる。

```
M1 = I(3);          3x3 の実単位行列
M1 = I(3, c);       3x3 の複素単位行列,          c = 複素数
M1 = I(3, P);       3x3 の実多項式単位行列,      P = 実多項式
M1 = I(3, CP);      3x3 の複素多項式単位行列,    CP = 複素多項式
M1 = I(3, R);       3x3 の実有理多項式単位行列,   R = 実有理多項式
M1 = I(3, CR);      3x3 の複素有理多項式単位行列, CR = 複素有理多項
式
M1 = I(3, 4);       3x4 の実行列,
M1 = I(3, 4, c);    3x4 の複素行列,            c = 複素数
```

[1]行列の配列参照


```
M1 = I(3, 4, P);    3x4 の実多項式行列,        P = 実多項式
M1 = I(3, 4, CP);   3x4 の複素多項式行列,      CP = 複素多項式
M1 = I(3, 4, R);    3x4 の実有理多項式行列,     R = 実有理多項式
M1 = I(3, 4, CR);   3x4 の複素有理多項式行列,   CR = 複素有理多項式
M2 = I(M1);         M1 と同じ大きさで同じクラスの行列
M2 = I(3, M1);      M1 を横 3 個並べた大きさで同じクラスの行列
M2 = I(2, 3, M1);   M1 を縦に 2 個，横に 3 個並べた大きさで
                    M1 と同じクラスの行列
```

15.2.3　1 で満たされた行列

多項式行列の場合，成分の全てが定数項が 1 である多項式になる。有理多項式行列の場合，成分の全てが分子多項式と分母多項式の定数項が 1 である有理多項式になる。ピース行列を大きさの単位として使い，ピース行列の整数倍の大きな 1 で満たされた行列を簡単に作ることができる。

```
M1 = ONE(3);          3x3 の実行列
M1 = ONE(3, c);       3x3 の複素行列,          c = 複素数
M1 = ONE(3, P);       3x3 の実多項式行列,      P = 実多項式
M1 = ONE(3, CP);      3x3 の複素多項式行列,    CP = 複素多項式
M1 = ONE(3, R);       3x3 の実有理多項式行列,   R = 実有理多項式
M1 = ONE(3, CR);      3x3 の複素有理多項式行列, CR = 複素有理多項式
M1 = ONE(3, 4);       3x4 の実行列,
M1 = ONE(3, 4, c);    3x4 の複素行列,          c = 複素数
M1 = ONE(3, 4, P);    3x4 の実多項式行列,      P = 実多項式
M1 = ONE(3, 4, CP);   3x4 の複素多項式行列,    CP = 複素多項式
M1 = ONE(3, 4, R);    3x4 の実有理多項式行列,   R = 実有理多項式
M1 = ONE(3, 4, CR);   3x4 の複素有理多項式行列, CR = 複素有理多項式
M2 = ONE(M1);         M1 と同じ大きさで同じクラスの行列
M2 = ONE(3, M1);      M1 を横に 3 個並べた大きさで同じクラスの行列
M2 = ONE(2, 3, M1);   M1 を縦に 2 個，横に 3 個並べた大きさで
                      M1 と同じクラスの行列
```

15.2.4　等差数列配列

等差数列配列は行列ではなく配列として処理される。

```
// from から to まで by づつ増加する数列を成分とする横配列
A1 = [from:by:to];
// from から to まで 1 づつ増加する数列を成分とする横配列
A1 = [from:to];
```

```
A1 = [0.1:0.1:0.5];  // M1 = [0.1 0.2 0.3 0.4 0.5]
A2 = [0.5:-0.1:0.1]; // M2 = [0.5 0.4 0.3 0.2 0.1]
A3 = [4:12];         // M3 = [4 5 6 7 8 9 10 11 12]
```

15.2.5　対角行列とブロック対角行列

対角行列及びブロック対角行列を定義する時，全ての成分のクラスは一致しなければならない。整数，実数，多項式等のスカラーと行列を混在させてブロック対角行列を記述するには，スカラーを 1 x 1 の行列として記述する。

```
M1 = diag(1.0, 2.0, 3.0);          // 実対角行列
CM1 = diag((1,2), (3,4), (5,6)); // 複素対角行列
M4 = diag(M1, M2, M3);             // ブロック対角行列
M3 = diag(M1, M2, [1]);            // ブロック対角行列
```

15.2.6　複素行列

複素行列の記述方法には，複素数を成分として記述する方法と一対の実行列をコンマ “,” で区切って丸括弧（と）で囲む方法がある。実部または虚部だけを指定し，もう一方に * を指定して複素行列を記述することもできる。


```
CM3 = (M1,M2); // CM3 = M1 + M2*i;    (M1,M2:実行列)
CM3 = (M1,*);  // CM3 = M1 + Z(M1)*i; (M1:実行列)
CM3 = (*,M1);  // CM3 = Z(M1)*i + M1; (M1:実行列)
```

複素行列の実部と虚部は，関数 Re() と Im() を用いてとり出すことができる。

```
M1 = Re((M1,M2));  // 実部行列 = Re(複素行列)
M2 = Im((M1,M2));  // 虚部行列 = Im(複素行列)
```

15.2.7　行列を成分とする行列

行列の式を行列の成分として用いることができる。ただし，それぞれの式の計算結果の行列の大きさは，行列の成分として適当でなければならない。

```
M1 = [[1 2][3 4]];  M2 = [5 6]';  M3 = [7 8];
M4 = [9];  M5 = [[1 0][0 1]];  M6 = [1];

M7 = [[ M1   , -M2*M6\M2#]
      [-M5   , -M1#      ]];
```

15.3　多項式行列

15.3.1　多項式行列の記述方法

多項式行列は，多項式を成分とする行列である。多項式行列の操作は実行列や複素行列といった数値行列と同じである。

```
s = $;

PM1 = [[s + 1  s + 2]    PM2 = [[s + 5  s + 6]
       [s + 3  s + 4]];         [s + 7  s + 8]];

PM1 = diag(s+1, s+2, s+3, s+4);
```

多項式行列を記述する便利な方法には，少なくとも 2 つある。1 つは，

```
s = $;

A = [[1 2][3 4]]*s^2 + [[5 6][7 8]]*s
    + [[9 10][11 12]];
```

であり，もう 1 つは

```
s = $;

A = [[  s^2+5*s+9 , 2*s^2+6*s+10]
     [3*s^2+7*s+11, 4*s^2+8*s+12]];
```

で，どちらも同じ多項式行列を作る。前者は，行列を多項式の係数として用い，後者は，4 つの多項式を陽に行列の成分として使っている。

複素多項式行列の記述方法には，複素多項式を成分として記述する方法と一対の実多項式行列をコンマ “,” で区切って丸括弧（と）で囲む方法がある。実部または虚部だけを指定し，もう一方に * を指定して複素多項式行列を記述することもできる。

```
CPM1 = (PM1,PM2); // CPM1 = PM1 + PM2 i,
                  // PM1 と PM2 は，実多項式行列
CPM1 = (PM1,*);   // CPM1 = PM1 + Z(PM1) i,
                  // PM1 は，実多項式行列
CPM1 = (*,PM1);   // CPM1 = Z(PM1) + PM1 i,
                  // PM1 は，実多項式行列
```


実部多項式行列と虚部多項式行列は，関数 Re() と Im() を用いて取り出すことができる。

```
PM1 = Re((PM1, PM2));  // 実部多項式行列
PM2 = Im((PM1, PM2));  // 虚部多項式行列
```

[例] 2 個の実多項式行列 PM1 と PM2 から複素多項式行列 CPM1 を作る。

```
 s = $;

PM1 = [[s + 1  s + 2]    PM2 = [[s + 5  s + 6]
       [s + 3  s + 4]];         [s + 7  s + 8]];

 CPM1 = (PM1, PM2);
 CPM2 = [[(1,1)*s+(1,5) (1,1)*s+(2,6)]
         [(1,1)*s+(3,7) (1,1)*s+(4,8)]];
```

15.3.2　多項式行列の評価

関数 eval() を用いて，多項式行列の変数にいろいろなクラスの値を代入した結果を求めることができる。配列は，多項式行列の各成分の変数に代入されるので，評価結果はブロック行列になる。例えば，変数に行列を代入して

```
s = $;
RM1 = [[(s+1) (s+2)]
       [(s+3) (s+4)]];

A = [[1 2][3 4]];

B = eval(RM1, A);
```

の結果，

$$B = \begin{bmatrix} \texttt{eval(s+1, A)} & \texttt{eval(s+2, A)} \\ \texttt{eval(s+3, A)} & \texttt{eval(s+4, A)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2 & 2 & 3 & 2 \\ 3 & 5 & 3 & 6 \\ 4 & 2 & 5 & 2 \\ 3 & 7 & 3 & 8 \end{bmatrix}$$

となるが，配列を用いると

```
s = $;
RM1 = [[(s+1) (s+2)]
       [(s+3) (s+4)]];

A = [[1 2][3 4]];

B = eval(RM1, Array(A));
```

の結果，

$$B = \begin{bmatrix} \texttt{eval(RM1, 1)} & \texttt{eval(RM1, 2)} \\ \texttt{eval(RM1, 3)} & \texttt{eval(RM1, 4)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2 & 3 & 3 & 4 \\ 4 & 5 & 5 & 6 \\ 4 & 5 & 5 & 6 \\ 6 & 7 & 7 & 8 \end{bmatrix}$$

となる。多項式行列の評価に伴うクラス変換の規則を以下に示す。

実行列　= eval(実多項式行列，実数)
複素行列　= eval(実多項式行列，複素数)
複素行列　= eval(複素多項式行列，実数)
複素行列　= eval(複素多項式行列，複素数)
実多項式行列　= eval(実多項式行列，実多項式)
複素多項式行列　= eval(複素多項式行列，実多項式)
複素多項式行列　= eval(実多項式行列，複素多項式)
実有理多項式行列　= eval(実多項式行列，実有理多項式)
複素有理多項式行列 = eval(複素多項式行列，実有理多項式)
複素有理多項式行列 = eval(実多項式行列，複素有理多項式)
複素有理多項式行列 = eval(複素多項式行列，複素有理多項式)

実行列　= eval(実多項式行列，実行列)
複素行列　= eval(実多項式行列，複素行列)
複素行列　= eval(複素多項式行列，実行列)
複素行列　= eval(複素多項式行列，複素行列)
実多項式行列　= eval(実多項式行列，実多項式行列)
複素多項式行列　= eval(複素多項式行列，実多項式行列)
複素多項式行列　= eval(実多項式行列，複素多項式行列)
実有理多項式行列　= eval(実多項式行列，実有理多項式行列)
複素有理多項式行列 = eval(複素多項式行列，実有理多項式行列)
複素有理多項式行列 = eval(実多項式行列，複素有理多項式行列)
複素有理多項式行列 = eval(複素多項式行列，複素有理多項式行列)

実配列　　= eval(実多項式行列，実配列)
複素配列　　= eval(実多項式行列，複素配列)
複素配列　　= eval(複素多項式行列，実配列)
複素配列　　= eval(複素多項式行列，複素配列)
実多項式配列　　= eval(実多項式行列，実多項式配列)
複素多項式配列　　= eval(複素多項式行列，実多項式配列)
複素多項式配列　　= eval(実多項式行列，複素多項式配列)
実有理多項式配列　= eval(実多項式行列，実有理多項式配列)
複素有理多項式配列 = eval(複素多項式行列，実有理多項式配列)
複素有理多項式配列 = eval(実多項式行列，複素有理多項式配列)
複素有理多項式配列 = eval(複素多項式行列，複素有理多項式配列)

15.3.3　多項式行列の微分と積分

多項式行列の微分と積分は，関数 derivative() と integral() を用いる。第 2 引数に求める導関数あるいは不定積分の階数を指定するが，階数を省略すると 1 階の導関数または不定積分を求める。

```
CPM2 = integral(CPM1);     // CPM1 の 1 階不定積分
CPM3 = integral(CPM1,2);   // CPM1 の 2 階不定積分
CMP4 = derivative(CMP2);   // CPM2 の 1 階導関数
CMP5 = derivative(CMP3,2); // CPM3 の 2 階導関数
```

15.3.4　多項式行列の各要素の係数のシフト

多項式行列の各要素の係数のを高次方向と低次方向にシフトするには，関数
higher() と lower() ををそれぞれ用いる。第 2 引数にシフトする回数を指定するが，回数を省略すると 1 回のシフトを意味する。


```
CPM2 = higher(CPM1);    // CPM1 の高次方向への 1 回シフト
CPM3 = higher(CPM1,2);  // CPM1 の高次方向への 2 回シフト
CPM4 = lower(CPM2);     // CPM2 の低次方向への 1 回シフト
CPM5 = lower(CPM3,2);   // CPM3 の低次方向への 2 回シフト
```

15.4　有理多項式行列

15.4.1　有理多項式行列の記述方法

有理多項式行列は，有理多項式を成分とする行列である。有理多項式行列の操作は実行列や複素行列といった数値行列と同じである。

```
s = $;

RM1 = [[(s+1)/(s+2)  (s+3)/(s+4)]
       [(s+5)/(s+6)  (s+7)/(s+8)]];

RM2 = diag((s+1)/(s+2), (s+3)/(s+4), (s+5)/(s+6));
```

有理多項式行列を記述するには，陽に有理多項式を行列の成分として用いる。例えば，

```
s = $;
A = [[(s+1)/(s+2) , (s+3)/(s+4)]
     [(s+5)/(s+6) , (s+7)/(s+8)]];
```

の結果，

```
=== [A] : (  2,  2) ===

      [     (  1)     ]  [     (  2)     ]
            s + 1              s + 3
(  1) ----------------   ----------------
            s + 2              s + 4
```

```
             s + 5              s + 7
(  2) ----------------   ----------------
             s + 6              s + 8
```

となる。また，配列オペレータを使うことによって，有理多項式行列を簡単に記述することができ，

```
s = $;
X = [[1 3][5 7]];  Y = [[2 4][6 8]];
B = (ONE(2)*s + X) ./ (ONE(2)*s + Y);
```

によって，有理多項式行列 B は，A と一致する。ただし，記号 ./ は，行列の成分毎の割算を行なう配列オペレータを意味し，ONE(2) は，全ての成分が 1 である 2 x 2 の行列である。

複素有理多項式行列の入力方法には，複素有理多項式を成分として記述する方法と一対の実有理多項式行列をコンマ “,” で区切って丸括弧（と）で囲む方法がある。実部または虚部だけを指定し，もう一方に * を指定して複素有理多項式行列を記述することもできる。

```
CRM1 = (RM1,RM2); // CRM1 = RM1 + RM2 i,
                  // RM1 と RM2 は，実有理多項式行列
CRM1 = (RM1,*);   // CRM1 = RM1 + Z(RM1) i,
                  // RM1 は，実有理多項式行列
CRM1 = (*,RM1);   // CRM1 = Z(RM1) + RM1 i,
                  // RM1 は，実有理多項式行列
```

実部有理多項式行列と虚部有理多項式行列は，関数 Re() と Im() を用いて取り出すことができる。

```
RM1 = Re((RM1, RM2));  // 実部有理多項式行列
RM2 = Im((RM1, RM2));  // 虚部有理多項式行列
```

[例] 2 個の実有理多項式行列 RM1 と RM2 から複素有理多項式行列 CRM1 を作る。


```
s = $;
RM1 = [[(s+1)/(s+2)  (s+3)/(s+4)]
       [(s+5)/(s+6)  (s+7)/(s+8)]];

RM2 = [[(s+3)/(s+2)  (s+5)/(s+4)]
       [(s+7)/(s+6)  (s+1)/(s+8)]];

CRM1 = (RM1, RM2);

CRM2 = [[((1,1)*s+(1,3))/(s+2) ((1,1)*s+(3,5))/(s+4)]
        [((1,1)*s+(5,7))/(s+6) ((1,1)*s+(7,1))/(s+8)]];
```

15.4.2　有理多項式行列の評価

関数 eval() を用いて，有理多項式行列の変数にいろいろなクラスの値を代入した結果を求めることができる。配列は，有理多項式行列の各成分の変数に代入されるので，評価結果はブロック行列になる。例えば，変数に行列を代入して

```
s = $;
RM1 = [[(s+1)/(s+2)  (s+3)/(s+4)]
       [(s+5)/(s+6)  (s+7)/(s+8)]];

A = [[1 2][3 4]];

B = eval(RM1, A);
```

の結果，

$$
\begin{aligned}
\mathtt{B} &= \begin{bmatrix} \mathtt{eval((s+1)/(s+2),\ A)} & \mathtt{eval((s+3)/(s+4),\ A)} \\ \mathtt{eval((s+5)/(s+6),\ A)} & \mathtt{eval((s+7)/(s+8),\ A)} \end{bmatrix} \\
&= \begin{bmatrix} 0.50000 & 0.16667 & 0.76471 & 0.05882 \\ 0.25000 & 0.75000 & 0.08824 & 0.85294 \\ 0.84375 & 0.03125 & 0.88235 & 0.01961 \\ 0.04688 & 0.89063 & 0.02941 & 0.91176 \end{bmatrix}
\end{aligned}
$$

となるが，配列を用いると

```
s = $;
RM1 = [[(s+1)/(s+2)  (s+3)/(s+4)]
       [(s+5)/(s+6)  (s+7)/(s+8)]];

A = [[1 2][3 4]];

B = eval(RM1, Array(A));
```

の結果，

$$
\begin{aligned}
\mathtt{B} &= \begin{bmatrix} \mathtt{eval(RM1,\ 1)} & \mathtt{eval(RM1,\ 2)} \\ \mathtt{eval(RM1,\ 3)} & \mathtt{eval(RM1,\ 4)} \end{bmatrix} \\
&= \begin{bmatrix} 0.66667 & 0.75000 & 0.80000 & 0.83333 \\ 0.80000 & 0.83333 & 0.85714 & 0.87500 \\ 0.85714 & 0.87500 & 0.88889 & 0.90000 \\ 0.88889 & 0.90000 & 0.90909 & 0.91667 \end{bmatrix}
\end{aligned}
$$

となる。有理多項式行列の評価に伴うクラス変換の規則を以下に示す。

実行列　= eval(実有理多項式行列，実数)
複素行列　= eval(実有理多項式行列，複素数)
複素行列　= eval(複素有理多項式行列，実数)
複素行列　= eval(複素有理多項式行列，複素数)
実有理多項式行列　= eval(実有理多項式行列，実多項式)
実有理多項式行列　= eval(実有理多項式行列，実有理多項式)
複素有理多項式行列 = eval(実有理多項式行列，複素多項式)
複素有理多項式行列 = eval(複素有理多項式行列，実多項式)
複素有理多項式行列 = eval(実有理多項式行列，複素有理多項式)
複素有理多項式行列 = eval(複素有理多項式行列，実有理多項式)
複素有理多項式行列 = eval(複素有理多項式行列，複素有理多項式)

実行列　= eval(実有理多項式行列，実行列)
複素行列　= eval(実有理多項式行列，複素行列)
複素行列　= eval(複素有理多項式行列，実行列)
複素行列　= eval(複素有理多項式行列，複素行列)
実有理多項式行列　= eval(実有理多項式行列，実多項式行列)
実有理多項式行列　= eval(実有理多項式行列，実有理多項式行列)
複素有理多項式行列 = eval(実有理多項式行列，複素多項式行列)
複素有理多項式行列 = eval(複素有理多項式行列，実多項式行列)
複素有理多項式行列 = eval(実有理多項式行列，複素有理多項式行列)
複素有理多項式行列 = eval(複素有理多項式行列，実有理多項式行列)
複素有理多項式行列 = eval(複素有理多項式行列，複素有理多項式行列)

実配列　　= eval(実有理多項式行列，実配列)
複素配列　　= eval(実有理多項式行列，複素配列)
複素配列　　= eval(複素有理多項式行列，実配列)
複素配列　　= eval(複素有理多項式行列，複素配列)
実有理多項式配列　= eval(実有理多項式行列，実多項式配列)
実有理多項式配列　= eval(実有理多項式行列，実有理多項式配列)
複素有理多項式配列 = eval(実有理多項式行列，複素多項式配列)
複素有理多項式配列 = eval(複素有理多項式行列，実多項式配列)
複素有理多項式配列 = eval(実有理多項式行列，複素有理多項式配列)
複素有理多項式配列 = eval(複素有理多項式行列，実有理多項式配列)
複素有理多項式配列 = eval(複素有理多項式行列，複素有理多項式配列)

15.4.3　有理多項式行列の微分

有理多項式行列の微分は，関数 derivative() を用いる。有理多項式行列の積分は，今のところ用意されていない。第 2 引数に求める導関数の階数を指定するが，階数を省略すると 1 階の導関数を求める。

```
CRM2 = derivative(CRM1);    // CRM1 の 1 階導関数
CRM3 = derivative(CRM1,2);  // CRM1 の 2 階導関数
```

15.4.4　有理多項式行列の各要素の係数のシフト

有理多項式行列の各要素の係数を高次方向と低次方向にシフトするには，関数
higher() と lower() をそれぞれ用いる。第 2 引数にシフトする回数を指定するが，回数を省略すると 1 回のシフトを意味する。


```
CRM2 = higher(CRM1);   // CRM1 の高次方向への 1 回シフト
CRM3 = higher(CRM1,2); // CRM1 の高次方向への 2 回シフト
CRM4 = lower(CRM2);    // CRM2 の低次方向への 1 回シフト
CRM5 = lower(CRM3,2);  // CRM3 の低次方向への 2 回シフト
```

15.4.5　有理多項式配列の分子配列と分母配列

有理多項式配列の各要素の分子多項式からなる分子配列と分母多項式からなる分母配列は，関数 Nu() と De() を用い取り出す。

```
s = $;
A = [[1 2]     B = [[5 6]
     [3 4]];        [7 8]];

C = (ONE(2)*s + A) ./ (ONE(2)*s + B);

// C = [[(s+1)/(s+5)  (s+2)/(s+6)]
//      [(s+3)/(s+7)  (s+4)/(s+8)]]

N = Nu(Array(C)); // N = [[s+1  s+2]
                  //      [s+3  s+4]]

D = De(Array(C)); // D = [[s+5  s+6]
                  //      [s+7  s+8]]
```

15.5　行列成分の操作

行列の名前の次に行番号と列番号をコンマ “,” で区切って丸括弧（ と ）で囲んで行列の成分を参照する。1 行目の成分を参照する時，行番号を省略できる。ブロック成分の参照には，参照する行の区間と列の区間をコロン : を使って指定する。

指数を使えば，ある行列から任意の成分を取り出し，任意の順に並べた部

分行列を作ったり，ある行列に任意の順で成分を代入できる。

ピース行列[2]を使えば，1 つの大きな行列を別の小さな行列の 2 次元配列と考え，効率良くブロック成分を参照できる。ただし，ピース行列を使用する場合，配列の次数は 0 から始まる。指数とピース行列を同時に利用すれば，ブロック成分からなる行列の配列を操作できる。

15.5.1　成分の取り出し

M1(1,1)	(1,1) 成分
M1(5)	成分を (1,1) → (1,Cols(M1)) → (2,1) → (2,Cols(M1)) → ... → (Rows(M1),Cols(M1)) の順番に並べた時，5 番目の成分
M1(3:5)	3-5 番目成分からなるベクトル
M1(1,:)	第 1 行ベクトル
M1(:,1)	第 1 列ベクトル
M1(1:2,2:3)	1-2 行，2-3 列のブロック成分
M1(2:3,4)	2-3 行，4 列成分よりなる列ベクトル
M1(2:3,:)	2-3 行成分よりなるブロック成分
M1(2:3,2:)	2-3 行，2 列以降のブロック成分
M1(4,2:3)	4 行，2-3 列成分よりなる行ベクトル
M1(:,2:3)	2-3 列成分よりなるブロック成分
M1(2:,2:3)	2 行以降，2-3 列のブロック成分

15.5.2　ブロック成分の取り出し

M2 を M1 のピース行列とする。

[2]行列の配列参照

M1(0,1,M2)	M2 を縦横に並べた時，1 行 2 列のブロック成分
M1(1,2,M2)	M2 を縦横に並べた時，2 行 3 列のブロック成分
M1(1,:,M2)	M2 を縦横に並べた時，2 行のブロック成分
M1(:,1,M2)	M2 を縦横に並べた時，2 列のブロック成分
M1(1:2,2:3,M2)	M2 を縦横に並べた時，2-3 行，3-4 列のブロック成分
M1(2:3,4,M2)	M2 を縦横に並べた時，3-4 行，5 列のブロック成分
M1(2:3,:,M2)	M2 を縦横に並べた時，3-4 行のブロック成分
M1(2:,4,M2)	M2 を縦横に並べた時，3 行以降，5 列のブロック成分
M1(4,2:3,M2)	M2 を縦横に並べた時，5 行，3-4 列のブロック成分
M1(:,2:3,M2)	M2 を縦横に並べた時，3-4 列のブロック成分
M1(4,2:,M2)	M2 を縦横に並べた時，5 行，3 列以降のブロック成分

15.5.3　式行列の成分の取り出し

行列の式を四角ブラケット［と］で囲むことによって変数行列と同様に成分を取り出すことができる。

[M1+M2](1,1)	M1+M2 の (1,1) 成分
[M1+M2](3:5)	M1+M2 の 3-5 番目成分からなるベクトル
[M1+M2](3:)	M1+M2 の 3 番目以降の成分からなるベクトル
[M1+M2](1,:)	M1+M2 の第 1 行ベクトル
[M1+M2](1:2,2:3)	M1+M2 の 1-2 行，2-3 列のブロック成分
[M1+M2](2:3,4)	M1+M2 の 2-3 行，4 列成分よりなる列ベクトル
[M1+M2](2:,4)	M1+M2 の 2 行以降，4 列成分よりなる列ベクトル

15.5.4　0-1 配列を用いた成分の操作

比較演算の結果生成される 0-1 配列を用いれば小行列を作成できる。m x 1 の縦ベクトル (配列)A から負の要素を取り去る例を次に示す。

```
A = Array([-1, 1, -2, 2]);
L = A > 0;          // L = [0 1 0 1]
B = A(L);           // B = [1 2]
```

ここで，L は比較演算の結果作られる 0 と 1 からなる m x 1 の配列である。次のように，L を用いずに直接正の成分を取り出すこともできる。

```
A = Array([-1, 1, -2, 2]);
B = A(A > 0);       // B = [1 2]
```

関数 find() を使って指数を求めてから，正の成分を取り出してもよい。

```
A = Array([-1, 1, -2, 2]);
idx = find(A > 0);  // idx = [2 4]
B = A(idx);         // B = [1 2]
```

次に，A の負のようその符合を反転する例を示す。

```
A = Array([-1, 1, -2, 2]);
L = A < 0;      // L = [1 0 1 0]
B = -A(L);      // B = [1 2]
A(L) = B;       // A = [1 1 2 2]
```

次のように，L を用いないで直接負の成分の符合を反転することのできる。

```
A = Array([-1, 1, -2, 2]);
A(A < 0) = -A(A < 0);      // A = [1 1 2 2]
```

関数 find() を使って指数を求めてから，負の成分の符合を反転しても良い。


```
A = Array([-1, 1, -2, 2]);
idx = find(A < 0);  // idx = [1 3]
A(idx) = -A(idx);   // A = [1 1 2 2]
```

15.5.5　成分の代入

左辺の行列の大きさが指定された指数より小さいとき，自動的に拡大され，成分の代入が行われる。ただし，自動拡大機能を繰り返し用いると処理時間が長くなり，メモリの使用効率も悪くなるので，あらかじめ必要な最大の大きさの行列を定義してから，成分の代入を行う方が良い。左辺の行列の指定された指数の大きさと右辺の行列の大きさは一致しなければならない。複素行列には実数と複素数を代入できるが，実行列には実数しか代入できない。有理多項式行列には多項式と有理多項式を代入できるが，多項式行列には多項式しか代入できない。

```
M1(1,1) = 1.0;        (1,1) 成分に代入する
M1(2) = 1.0;          (1,2) 成分に代入する
                      (1,i) 成分の指定する時，1 を省略できる
CM1(1,1) = (1, 2);    (1,1) 成分に代入する
M(3:5) = M2;          3-5 番目成分に代入する
M(1,:) = M2;          1 行に代入する
M(:,2) = M2;          2 列に代入する
M(3:) = M2;           3 番目以降に代入する
M1(1:2,1:2) = M2;     1-2 行，1-2 列に代入する
M1(2:,3:) = M2;       (2,3) が左上に一致するように代入する
M1(2,3:) = M2;        (2,3) が左上に一致するように代入する
M1(2:,3) = M2;        (2,3) が左上に一致するように代入する
M1(1,2:3) = M2;       1 行，2-3 列に代入する
M1(:,2:3) = M2;       2-3 列に代入する
M1(2:3,1) = M2;       2-3 行，1 列に代入する
M1(2:3,:) = M2;       2-3 行に代入する
```

15.5.6　ブロック成分の代入

左辺の行列の大きさが指定された指数より小さいとき，自動的に拡大され，成分の代入が行われる。ただし，自動拡大機能を繰り返し用いると処理時間が長くなり，メモリの使用効率も悪くなるので，あらかじめ必要な最大の大きさの行列を定義してから，成分の代入を行う方が良い。左辺の行列の指定された指数の大きさと右辺の行列の大きさは一致しなければならない。複素行列には実数と複素数を代入できるが，実行列には実数しか代入できない。有理多項式行列には多項式と有理多項式を代入できるが，多項式行列には多項式しか代入できない。

M2 を M1 のピース行列とする。


```
M1(0,0,M2) = M3;        M2 を縦横に並べた時，1 行 1 列に代入する
M1(1,2,M2) = M3;        M2 を縦横に並べた時，2 行 3 列に代入する
M(1,:,M2) = M3;         M2 を縦横に並べた時，2 行に代入する
M(:,2,M2) = M3;         M2 を縦横に並べた時，3 列に代入する
M1(1:2,1:2,M2) = M3;    M2 を縦横に並べた時，2-3 行,2-3 列に代入する
M1(1,2:3,M2) = M3;      M2 を縦横に並べた時，2 行,3-4 列に代入する
M1(:,2:3,M2) = M3;      M2 を縦横に並べた時，3-4 列に代入する
M1(1,2:,M2) = M3;       M2 を縦横に並べた時，2 行,3 列以降に代入する
M1(2:3,1,M2) = M3;      M2 を縦横に並べた時，3-4 行,2 列に代入する
M1(2:3,:,M2) = M3;      M2 を縦横に並べた時，3-4 行に代入する
M1(2:,1,M2) = M3;       M2 を縦横に並べた時，3 行以降,2 列に代入する
```

15.5.7　行列成分の削除

代入式の左辺に，削除する成分を指定した行列を書き，右辺に 0×0 の行列を用いれば，左辺の行列から行単位あるいは列単位で成分を削除できる。

```
M1(1,:)   = [];   M1 の 1 行を削除する
M1(2:3,:) = [];   M1 の 2~3 行を削除する
M1(:,1)   = [];   M1 の 1 列を削除する
M1(:,2:3) = [];   M1 の 2~3 列を削除する
M1(2:3)   = [];   M1 の (1,2),(1,3) 成分を削除する
                  (1,i) 成分の指定する時，1 を省略できる。
```

15.5.8　行列の大きさの変更

行列の大きさは，関数 reshape() を使って変更することができる。だだし，変更前の行列の成分の数と変更後の行列の成分の数は，等しくなければならない。行列の成分は，左から右へ，上から下へ，並べられる。

```
M1 = reshape([1 2 3 4], 2, 2); // M1 = [[1 2][3 4]]
```

15.5.9　指数を用いた行列成分の操作

指数は，整数を 1 次元的に並べたものであり，クラス変換関数 Index() を使って行列や配列から作ることができる。指数は，ある行列から任意の成分を取り出して，任意の順に並べた部分行列を作ったり，ある行列に任意の順で成分を代入する時に，使われる。行列の成分の取り出しや代入のために使われるコロン : で区切った整数の並びも指数と同様な働きをする。

例えば，X が n 次元ベクトルで V が n 次元指数とすると，X(V) は，

```
[X(V(1)), X(V(2)), X(V(3)), ..., X(V(n))]
```

となる。また，代入式において両辺で指数を使うと，もっと複雑なことができる。例えば，

```
A(:, Index([3 5 10])) = B(:, 1:3)
```

によって，行列 A の 3 列，5 列，10 列に行列 B の最初の 3 列が代入される。もっと一般的に，もし v と w が指数なら，

```
A(v, w)
```

は，v と w の成分を行番号と列番号としてもつ A の成分からなる部分行列を意味する。したがって，

```
A(:, n:-1:1)
```


は，行列 A の列の順番を逆にした行列である。

指数とピース行列を同時に使えば，行列の配列から任意のブロック成分からなる部分行列を参照することができる。

例えば，A が n x n 行列で，AA が n x n*n の行列の配列で，v が n 次元指数とすると，AA(v, A) は，

```
[AA(v(1), A), AA(v(2), A), AA(v(3), A), ..., AA(v(n), A)]
```

となる。また，代入式において両辺で指数を使うと，もっと複雑なことができる。例えば，

```
AA(:, Index([3 5 10]), A) = BB(:, 1:3, A)
```

によって，行列の配列 AA の 4 列，6 列，11 列に行列 BB の 2-4 列が代入される。もっと一般的に，もし v と w が指数なら，

```
AA(v, w, A)
```

は，v と w の成分を行と列としてもつ AA のブロック成分からなる部分行列を意味する。したがって，

```
AA(:, n:-1:1, A)
```

は，行列の配列 AA の列の順番を逆にした行列である。

M1(IDX2)	M1 の IDX2 成分からなる部分行列
M1(1,IDX2)	M1 の 1 行 IDX2 列からなる部分行列
M1(IDX1,IDX2)	M1 の IDX1 行 IDX2 列からなる部分行列
M1(IDX1,1)	M1 の IDX1 行 1 列からなる部分行列
M1(IDX1,1:2)	M1 の IDX1 行 1 ~ 2 列からなる部分行列
M1(1:2,IDX2)	M1 の 1 ~ 2 行 IDX2 列からなる部分行列
MM(IDX1,IDX2,M)	MM のピース行列 M による (IDX1+1) 行 (IDX2+1) 列からなる部分行列
MM(0,IDX2,M)	MM のピース行列 M による 1 行 (IDX2+1) 列からなる部分行列
MM(IDX1,0,M)	MM のピース行列 M による (IDX1+1) 行 1 列からなる部分行列

M1(IDX2)	= M2;	M1 の IDX2 成分に M2 を代入
M1(1,IDX2)	= M2;	M1 の 1 行 IDX2 列に M2 を代入
M1(IDX1,IDX2)	= M2;	M1 の IDX1 行 IDX2 列に M2 を代入
M1(IDX1,1)	= M2;	M1 の IDX1 行 1 列に M2 を代入
M1(IDX1,1:2)	= M2;	M1 の IDX1 行 1 ~ 2 列に M2 を代入
M1(1:2,IDX2)	= M2;	M1 の 1 ~ 2 行 IDX2 列に M2 を代入
MM(IDX1,IDX2,M)	= M2;	MM の (IDX1+1) 行 (IDX2+1) 列にピース行列 M を使って M2 を代入
MM(0,IDX2,M)	= M2;	MM の 1 行 (IDX2+1) 列にピース行列 M を使って M2 を代入
MM(IDX1,0,M)	= M2;	MM の (IDX1+1) 行 1 列にピース行列 M を使って M2 を代入

15.5.10　行列の配列 (ピース行列の利用)

行列は，実数，複素数，多項式，有理多項式の 1 次元または 2 次元の配列として考えることができる。同じ大きさの行列を成分とする配列は，ピース行列を使って記述する。大きさの異なる行列を成分とする配列を記述するた

めには，リストを利用しなければならない。ピース行列は，行列の配列の大きさの単位を指定するために使われる。たとえば，

```
A = [[1 2][3 4]];
AA = Z(2, 3, A);
```

によって，行列 A を縦に 2 個横に 3 個並べた 4 x 6 の零行列ができ，

```
AA(0, 0, A) = [[1 2][3 4]];
AA(1, 2, A) = [[5 6][7 8]];
```

によって，

$$\mathtt{AA} = \begin{bmatrix} 1 & 2 & \mathtt{Z(2)} & \mathtt{Z(2)} \\ 3 & 4 & & \\ \mathtt{Z(2)} & \mathtt{Z(2)} & 5 & 6 \\ & & 7 & 8 \end{bmatrix}$$

が得られる。ここで，A 行列は AA 行列のピース行列 (**Piece Matrix**) と呼ばれる。別の行列 B = [1] を AA 行列のピース行列として使って，

```
B = [1];
AA = Z(2, 3, A);
AA(0, 0, B) = [[1 2][3 4]];
AA(1, 2, B) = [[5 6][7 8]];
```

とすると，

$$\mathtt{AA} = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 3 & 4 & 5 & 6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 7 & 8 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

となる。

15.6　行列の比較と配列の比較

行列の正定性や 2 つの行列の比較は，関係演算子 >, >=, <, <= を使って調べることができる。配列を関係演算子を用いて比較した場合，各成分毎の比較が行なわれ，結果が (0 または 1) を成分とする配列として返される。この結果は，関数 all()，all_col()，all_row()，any()，any_col()，any_row() の引数として利用できる。

表 記	意 味
行列 < 0	maxeigval(行列) < 0
行列 > 0	mineigval(行列) > 0
行列 <= 0	maxeigval(行列) <= 0
行列 >= 0	mineigval(行列) >= 0
行列 == 0	行列は零行列である
行列 != 0	行列は零行列でない
0 > 行列	maxeigval(行列) < 0
0 < 行列	mineigval(行列) > 0
0 >= 行列	maxeigval(行列) <= 0
0 <= 行列	mineigval(行列) >= 0
0 == 行列	行列は零行列である
0 != 行列	行列は零行列でない
行列 1 < 行列 2	maxeigval(行列 1 - 行列 2) < 0
行列 1 > 行列 2	mineigval(行列 1 - 行列 2) > 0
行列 1 <= 行列 2	maxeigval(行列 1 - 行列 2) <= 0
行列 1 >= 行列 2	mineigval(行列 1 - 行列 2) >= 0
行列 1 == 行列 2	行列 1 は行列 2 と等しい
行列 1 != 行列 2	行列 1 は行列 2 と等しくない

maxeigval(行列) は固有値の実部の最大値を，mineigval(行列) は固有値の実部の最小値を意味する。

表 記	意 味
行列 .< (整数|実数)	各成分の比較結果 (0|1) の配列
行列 .> (整数|実数)	各成分の比較結果 (0|1) の配列
行列 .<= (整数|実数)	各成分の比較結果 (0|1) の配列
行列 .>= (整数|実数)	各成分の比較結果 (0|1) の配列
行列 .== (整数|実数)	各成分の比較結果 (0|1) の配列
行列 .!= (整数|実数)	各成分の比較結果 (0|1) の配列
(整数|実数) .< 行列	各成分の比較結果 (0|1) の配列
(整数|実数) .> 行列	各成分の比較結果 (0|1) の配列
(整数|実数) .<= 行列	各成分の比較結果 (0|1) の配列
(整数|実数) .>= 行列	各成分の比較結果 (0|1) の配列
(整数|実数) .== 行列	各成分の比較結果 (0|1) の配列
(整数|実数) .!= 行列	各成分の比較結果 (0|1) の配列

表 記	意 味
行列１ .< 行列２	各成分の比較結果 (0|1) の配列
行列１ .> 行列２	各成分の比較結果 (0|1) の配列
行列１ .<= 行列２	各成分の比較結果 (0|1) の配列
行列１ .>= 行列２	各成分の比較結果 (0|1) の配列
行列１ .== 行列２	各成分の比較結果 (0|1) の配列
行列１ .!= 行列２	各成分の比較結果 (0|1) の配列
行列１ .< 配列１	各成分の比較結果 (0|1) の配列
行列１ .> 配列１	各成分の比較結果 (0|1) の配列
行列１ .<= 配列１	各成分の比較結果 (0|1) の配列
行列１ .>= 配列１	各成分の比較結果 (0|1) の配列
行列１ .== 配列１	各成分の比較結果 (0|1) の配列
行列１ .!= 配列１	各成分の比較結果 (0|1) の配列
配列１ .< 行列１	各成分の比較結果 (0|1) の配列
配列１ .> 行列１	各成分の比較結果 (0|1) の配列
配列１ .<= 行列１	各成分の比較結果 (0|1) の配列
配列１ .>= 行列１	各成分の比較結果 (0|1) の配列
配列１ .== 行列１	各成分の比較結果 (0|1) の配列
配列１ .!= 行列１	各成分の比較結果 (0|1) の配列

表 記	意 味
配列１ < 配列２	各成分の比較結果 (0|1) の配列
配列１ > 配列２	各成分の比較結果 (0|1) の配列
配列１ <= 配列２	各成分の比較結果 (0|1) の配列
配列１ >= 配列２	各成分の比較結果 (0|1) の配列
配列１ == 配列２	各成分の比較結果 (0|1) の配列
配列１ != 配列２	各成分の比較結果 (0|1) の配列
配列 <（整数|実数）	各成分の比較結果 (0|1) の配列
配列 >（整数|実数）	各成分の比較結果 (0|1) の配列
配列 <=（整数|実数）	各成分の比較結果 (0|1) の配列
配列 >=（整数|実数）	各成分の比較結果 (0|1) の配列
配列 ==（整数|実数）	各成分の比較結果 (0|1) の配列
配列 !=（整数|実数）	各成分の比較結果 (0|1) の配列
（整数|実数） < 配列	各成分の比較結果 (0|1) の配列
（整数|実数） > 配列	各成分の比較結果 (0|1) の配列
（整数|実数） <= 配列	各成分の比較結果 (0|1) の配列
（整数|実数） >= 配列	各成分の比較結果 (0|1) の配列
（整数|実数） == 配列	各成分の比較結果 (0|1) の配列
（整数|実数） != 配列	各成分の比較結果 (0|1) の配列

表 記	意 味
配列 && 配列	論理演算の結果 (0|1) の配列
行列 .&& 行列	論理演算の結果 (0|1) の配列
行列 .&& 配列	論理演算の結果 (0|1) の配列
配列 .&& 行列	論理演算の結果 (0|1) の配列
配列 || 配列	論理演算の結果 (0|1) の配列
行列 .|| 行列	論理演算の結果 (0|1) の配列
行列 .|| 配列	論理演算の結果 (0|1) の配列
配列 .|| 行列	論理演算の結果 (0|1) の配列
! 配列	論理演算の結果 (0|1) の配列
.! 行列	論理演算の結果 (0|1) の配列

次の式は-A の成分が正である (0 より大きい) かどうか調べる意図で書かれているが，< と- の間にスペースが無いので，まとめて <- として解釈され，文法エラーになる。< と- の間にスペースを入れると意図通りに解釈される。

```
print 0<-A;
```

15.7　行列とスカラの演算

演算子 .+や.- によって定義される (行列—配列—指数) とスカラ (整数—実数—複素数など) の演算では、スカラはその値で満たされた (行列—配列—指数) と同じ大きさの (行列—配列—指数) に自動的に変換された後、通常の演算が行われる。

(行列|配列|指数) .+ (整数|実数|複素数|多項式|有理多項式)
(行列|配列|指数) .- (整数|実数|複素数|多項式|有理多項式)
(整数|実数|複素数|多項式|有理多項式) .+ (行列|配列|指数)
(整数|実数|複素数|多項式|有理多項式) .- (行列|配列|指数)

15.8　行列関数

行列関数の一覧を以下に示す。固有値の計算は EISPACK のアルゴリズムを使っている [16],[15],[4]。きざみを自動調節しながら 4 次のルンゲ- クッタの公式にしたがって指定された誤差内で常微分方程式の解を求める関数 OdeAuto() は，文献 [14] のアルゴリズムを参照している。また，RKF45 の公式にしたがって，指定されたきざみ幅で，常微分方程式の解を求める関数 Ode45() は，文献 [3] のアルゴリズムを参照している。LU 分解，QR 分解，QZ 分解は，文献 [5] を参考にした。

```
Matrix M1;
Real tol;
```

```
Integer  rank(M1);          ランク
Integer  rank(M1, tol);     ランク
                            tol: 許容誤差
Integer  Rows(M1);          行の数
Integer  Cols(M1);          列の数
Integer  length(M1);        行と列の大きい方の数
Integer  isreal(M1);        実行列の有無（真 = 1, 偽 = 0）
Integer  iscomplex(M1);     複素行列の有無（真 = 1, 偽 = 0）
Integer  isscalar(M1);      スカラーの有無（真 = 1, 偽 = 0）
Array    finite(M1);        各成分に対して有限の有無を調べる
                            無限大あるいは NaN である成分の所が 0，
                            それ以外の成分の所が 1 である
                            配列を返す
Array    isnan(M1);         各成分に対して NaN の有無を調べる
                            NaN である成分の所が 1，
                            それ以外の成分の所が 0 である
                            配列を返す
Matrix   sgn(M1);           各成分の sgn() を結果からなる行列
```

```
Marix M1, V1;          V1 はベクトル
Integer p;

Real max(M1);          最大成分
Real min(M1);          最小成分
List maximum(M1);      行列の最大成分とその位置
                       {r1, i, j} = maximum(M1);
                       r1 == M1(i,j)
List maximum(V1);      ベクトルの最大成分とその位置
                       {r1, i} = maximum(V1);
                       r1 == V1(i)
List minimum(M1);      行列の最小成分とその位置
                       {r1, i, j} = minimum(M1);
                       r1 == M1(i,j)
List minimum(V1);      ベクトルの最小値とその位置
                       {r1, i} = minimum(V1);
                       r1 == V1(i)
Real maxsing(M1);      最大特異値
Real minsing(M1);      最小特異値
Real det(M1);          実行列の行列式
Real trace(M1);        実行列のトレース
Real frobnorm(M1);     (実/複素) 行列のフロベニウスノルム
                       (ユークリッド ノルム)
Real infnorm(M1);      (実/複素) 行列の最大ノルム
Real norm(M1, p);
                       (実/複素) 行列の ノルム
                       M1 が行列の時 ,
                       p = 1: 1-ノルム
                       p = 2: 最大特異値
                       M1 がベクトルの時 , p-ノルム
```



```
Real norm(M1);         norm(M1, 2)

Complex max(Matrix M1);       絶対値が最大の成分
Complex min(Matrix M1);       絶対値が最小の成分
List maximum(Matrix M1);      絶対値が最大の成分とその位置
                              {c1, i, j} = maximum(M1);
                              c1 == M1(i,j)
List minimum(Matrix M1);      絶対値が最小の成分とその位置
                              {c1, i, j} = mininum(M1);
                              c1 == M1(i,j)
Complex det(CMatrix M1);      複素行列の行列式
Complex trace(CMatrix M1);    複素行列のトレース

Polynomial det(PMatrix M1);      多項式行列の行列式
Polynomial trace(PMatrix M1);    多項式行列のトレース
Polynomial frobnorm(Matrix M1); 多項式行列のフロベニウスノルム

Rational  det(RMatrix M1);       有理多項式行列の行列式
Rational  trace(RMatrix M1);     有理多項式行列のトレース
Rational  frobnorm(Matrix M1); 有理多項式行列のフロベニウスノルム

Real sum(Matrix M1);          全ての成分の和
Complex sum(CoMatrix M1);     全ての成分の和
Polynomail sum(PoMatrix M1);  全ての成分の和
Rational sum(RaMatrix M1);    全ての成分の和
Real prod(Matrix M1);         全ての成分の積
Complex prod(CoMatrix M1);    全ての成分の積
Polynomial prod(PoMatrix M1); 全ての成分の積
Rational prod(RaMatrix M1);   全ての成分の積
```

```
Real mean(Matrix M1);          全ての成分の平均値
Complex mean(CoMatrix M1);     全ての成分の平均値
Polynomial mean(PoMatrix M1); 全ての成分の平均値
Ratioanal mean(RaMatrix M1);   全ての成分の平均値

Real std(Matrix M1);           全ての成分の標準偏差
Complex std(CoMatrix M1);      全ての成分の標準偏差
Polynomial std(PoMatrix M1);   全ての成分の標準偏差
Rational std(RaMatrix M1);     全ての成分の標準偏差

Matrix cumsum(Matrix M1);      全ての成分の累積和
Matrix cumprod(Matrix M1);     全ての成分の累積積


Matrix M1;

Matrix sum_col(M1);       (縦・横) ベクトルの成分の和
                          列毎の和からなる横ベクトル
Matrix sum_row(M1);       (縦・横) ベクトルの成分の和
                          行毎の和からなる縦ベクトル
Matrix prod_col(M1);      (縦・横) ベクトルの成分の積
                          列毎の積からなる横ベクトル
Matrix prod_row(M1);      (縦・横) ベクトルの成分の積
                          行毎の積からなる縦ベクトル
Matrix mean_col(M1);      (縦・横) ベクトルの成分の平均値
                          列毎の平均値からなる横ベクトル
Matrix mean_row(M1);      (縦・横) ベクトルの成分の平均値
                          行毎の平均値からなる縦ベクトル
Matrix std_col(M1);       (縦・横) ベクトルの成分の標準偏差
                          列毎の標準偏差からなる横ベクトル
Matrix std_row(M1);       (縦・横) ベクトルの成分の標準偏差
```



```
                          行毎の標準偏差からなる縦ベクトル
Matrix cumsum_col(M1);    列毎の累積和
Matrix cumsum_row(M1);    行毎の累積和
Matrix cumprod_col(M1);   列毎の累積積
Matrix cumprod_row(M1);   行毎の累積積


Matrix M1, M2;

Matrix eigval(M1);        固有値
Matrix eigval(M1, M2);    一般固有値
Matrix eigvec(M1);        固有ベクトル
Matrix eigvec(M1, M2);    一般固有ベクトル
```

eigval() は固有値を実部の降順に返し，eigvec() はその固有値に対応する順で固有ベクトルを返す。

```
Matrix M1;

Matrix singval(M1);         特異値
Matrix singleftvec(M1);     左の特異ベクトル
Matrix singrightvec(M1);    右の特異ベクトル
```

singval() は特異値を降順に返し，singleftvec() と singrightvec() はその特異値に対応する順で特異ベクトルを返す。

```
Matrix M1;
Real tol;

Matrix  vectorprod(M1);       ベクトル積，外積
Matrix  exp(M1);              指数行列
Matrix  sqrt(M1);             平方根行列
Matrix  log(M1);              対数行列
```

```
Matrix  kernel(M1);          零空間 (カーネル)
Matrix  pseudoinv(M1);       擬似逆行列
Matrix  pseudoinv(M1, tol);  擬似逆行列
                             tol: 許容誤差
Matrix  abs(M1);             各成分の abs()
```

```
Matrix M1;
Real tol;
Integer i1;

Matrix conj(M1);          共役行列
Matrix trans(M1);         転置行列      M1'
Matrix conjtrans(M1);     共役転置行列  M1#
Matrix inv(M1);           逆行列        M1~
Matrix pow(M1, i1);       累乗        M1^i1

Matrix ceil(M1);          各成分の ceil() の結果
Matrix floor(M1);         各成分の floor() の結果
Matrix fix(M1);           各成分の fix() の結果
Matrix round(M1);         各成分の round() の結果
Matrix round2z(M1);       各成分の round2z() の結果
Matrix round2z(M1, tol);  各成分の round2z() の結果

Matrix M1, M2;
Integer k, m, n;
Index idx;

Matrix  vec2diag(M1);        縦ベクトルから対角行列
Matrix  vec2diag(M1, k);
```



```
                             縦ベクトルから対角行列
                             (k だけ主対角より上)
Matrix  diag2vec(M1);        対角行列から縦ベクトル
Matrix  diag2vec(M1, k);
                             対角行列から縦ベクトル
                             (k だけ主対角より上)
Matrix  fliplr(M1);          列を逆順に並べる
Matrix  flipud(M1);          行を逆順に並べる
Matrix  shiftLeft(M1, k);
                             全ての列を左に k シフトし，
                             右から 0 を代入する
                             k 省略すると，シフト数は 1 となる
Matrix  shiftRight(M1, k);
                             全ての列を右に k シフトし，
                             左から 0 を代入する
                             k 省略すると，シフト数は 1 となる
Matrix  shiftUp(M1, k);
                             全ての列を上に k シフトし，
                             下から 0 を代入する
                             k 省略すると，シフト数は 1 となる
Matrix  shiftDown(M1, k);
                             全ての列を下に k シフトし，
                             上から 0 を代入する
                             k 省略すると，シフト数は 1 となる
Matrix  rotateLeft(M1, k);
                             全ての列を左に k 回転する
                             k 省略すると，シフト数は 1 となる
Matrix  rotateRight(M1, k);
                             全ての列を右に k 回転する
                             k 省略すると，シフト数は 1 となる
```

```
Matrix  rotateUp(M1, k);
```
全ての列を上に k 回転する
k 省略すると，シフト数は 1 となる

```
Matrix  rotateDown(M1, k);
```
全ての列を下に k 回転する
k 省略すると，シフト数は 1 となる

```
Matrix  reshape(M1, m, n);
```
行列 M1 から行方向に成分を取り出して m x n の行列を作る。

```
List    sort(M1);
```
成分を昇べきの順にソートする
複素行列の場合，絶対値でソート

```
{M2, idx} = sort(M1);
```
M2: ソートした結果の行列
idx: ソートに使った指数
M2 = M1(idx)

```
List    sort(Array A1);
```
成分を昇べきの順にソートする
複素行列の場合，絶対値でソート

```
{A2, idx} = sort(A1);
```
A2: ソートした結果の配列
idx: ソートに使った指数
A2 = A1(idx)

```
Matrix max(M1, M2);
```
M1 と M2 の大きい方の成分からなる行列（複素行列の場合，絶対値によって比較する

```
Matrix min(M1, M2);
```
M1 と M2 の小さい方の成分からなる行列（複素行列の場合，絶対値によって比較する

```
Matrix rem(M1, i1);
```
M1 の各成分に対して rem() を計算する

```
Matrix rem(M1, r1);
```
M1 の各成分に対して rem() を計算する

```
Matrix rem(M1, M2);
```
M1 と M2 の成分毎に rem() を

計算する

```
Matrix M1;
Integer m, n;

Matrix  rand(M1);          M1 と同じ大きさの一様乱数行列
Integer rand("seed"):      一様乱数の種
Integer rand("seed", m):   一様乱数の種を設定
Matrix  randn(M1);         M1 と同じ大きさの正規乱数行列

Matrix  rngkut4(Real t, Matrix x, void dx())
                : dt = 1.0E-7, u = Z(0);
Matrix  rngkut4(Real t, Matrix x, void dx(), Matrix u)
                : dt = 1.0E-7
Matrix  rngkut4(Real t, Matrix x, void dx(), Matrix u,
                Real dt)
```
4 次のルンゲ- クッタの公式にしたがって常微分方程式の解を求める。

```
List Ode(Real t0, Real t1, Matrix x, void dx());
                              : h=4.0E-2, dtsav=1.0E-3
List Ode(Real t0, Real t1, Matrix x, void dx(),
              void input()); : h=4.0E-2, dtsav=1.0E-3
List Ode(Real t0, Real t1, Matrix x, void dx(),
              void input(), Real h); : dtsav=1.0E-3
List Ode(Real t0, Real t1, Matrix x, void dx(),
              void input(), Real h, Real dtsav);
```
4 次のルンゲ- クッタの公式にしたがって，指定されたきざみ幅 h で，

常微分方程式の [t0,t1] 時刻の解を求める。

{T, X, U} = Ode();
T: 時間の系列
X: 状態ベクトルの時系列
U: 入出力ベクトルの時系列

```
List OdeAuto(Real t0, Real t1, Matrix x, void dx());
             : eps=1.0E-6, dtsav=1.0E-3,
               dtmin=EPS, dtmax=abs(t1-t0)/5
List OdeAuto(Real t0, Real t1, Matrix x, void dx(),
             void input());
             : eps=1.0E-6, dtsav=1.0E-3
               dtmin=EPS, dtmax=abs(t1-t0)/5
List OdeAuto(Real t0, Real t1, Matrix x, void dx(),
             void input(), Real eps);
             : dtsav=1.0E-3, dtmin=EPS, dtmax=abs(t1-t1)/5
List OdeAuto(Real t0, Real t1, Matrix x, void dx(),
             void input(), Real eps, Real dtsav);
             : dtmin=EPS, dtmax=abs(t1-t0)/5
List OdeAuto(Real t0, Real t1, Matrix x, void dx(),
             void input(), Real eps, Real dtsav, Real dtmin);
             : dtmin=EPS
List OdeAuto(Real t0, Real t1, Matrix x, void dx(),
             void input(), Real eps,
             Real dtsav, Real dtmin, Real dtmax);
```

きざみを自動調節しながら 4 次のルンゲ- クッタの公式にしたがって
指定された誤差内で常微分方程式の [t0,t1] 時刻の解を求める。
ただし，きざみの最小値と最大値は dtmin と dtmax であり，
dtmax < dtsav のとき，dtmax = dtsav に設定される。
{T, X, U} = OdeAuto();
T: 時間の系列

X: 状態ベクトルの時系列
U: 入出力ベクトルの時系列

```
List OdeHybrid(Real t0, Real t1, Real dt, Matrix x,
         void dx())               : h=4.0E-2, dtsav=1.0E-3
List OdeHybrid(Real t0, Real t1, Real dt, Matrix x,
         void dx(), void input()) : h=4.0E-2, dtsav=1.0E-3
List OdeHybrid(Real t0, Real t1, Real dt, Matrix x,
         void dx(), void input(), Real h) : dtsav=1.0E-3
List OdeHybrid(Real t0, Real t1, Real dt, Matrix x, void dx(),
         void input(), Real h, Real dtsav)
```

4 次のルンゲ- クッタの公式にしたがって，指定されたきざみ幅 h で，

常微分方程式の [t0,t1] 時刻の解を求める。ただし，
サンプリング間で外部入力は一定値をとる。
また，きざみ幅 h が省略されて，dt < 4.0E-2 のとき，
h = dt である．
{T, X, U} = OdeHybrid();
T: 時間の系列
X: 状態ベクトルの時系列
U: 入出力ベクトルの時系列

```
List OdeHybridAuto(Real t0, Real t1, Real dt, Matrix x,
                   void dx())
                  : eps=1.0E-6, dtsav=1.0E-3,
                    dtmin=EPS, dtmax=abs(t1-t0)/5
List OdeHybridAuto(Real t0, Real t1, Real dt, Matrix x,
                   void dx(), void input())
                  : eps=1.0E-6, dtsav=1.0E-3,
                    dtmin=EPS, dtmax=abs(t1-t0)/5
```

```
List OdeHybridAuto(Real t0, Real t1, Real dt, Matrix x,
                   void dx(), void input(), Real eps)
                   : dtsav=1.0E-3, dtmin=EPS, dtmax=abs(t1-t0)/5
List OdeHybridAuto(Real t0, Real t1, Real dt, Matrix x,
                   void dx(), void input(), Real eps, Real dtsav)
                   : dtmin=EPS, dtmax=abs(t1-t0)/5
List OdeHybridAuto(Real t0, Real t1, Real dt, Matrix x,
                   void dx(), void input(), Real eps,
                   Real dtsav, Real dtmin)
                   : dtmax=abs(t1-t0)/5
List OdeHybridAuto(Real t0, Real t1, Real dt, Matrix x,
                   void dx(), void input(), Real eps,
                   Real dtsav, Real dtmin, Real dtmax)
```

きざみを自動調節しながら 4 次のルンゲ- クッタの公式にしたがって
指定された誤差内で常微分方程式の [t0,t1] 時刻の解を求める。
サンプリング間で外部入力は一定値をとる。
ただし，きざみの最小値と最大値は dtmin と dtmax であり，
dtmax < dtsav のとき，dtmax = dtsav に設定される。
{T, X, U} = OdeHybridAuto();
T: 時間の系列
X: 状態ベクトルの時系列
U: 入出力ベクトルの時系列

```
Matrix  rkf45(Real t, Matrix x, void dx())
                : dt = 1.0E-7, u = Z(0);
Matrix  rkf45(Real t, Matrix x, void dx(), Matrix u)
                : dt = 1.0E-7
Matrix  rkf45(Real t, Matrix x, void dx(), Matrix u,
                Real dt)
```

RKF45 の公式にしたがって常微分方程式の解を求める。


```
List Ode45(Real t0, Real t1, Matrix x, void dx());
                              : h=4.0E-2, dtsav=1.0E-3
List Ode45(Real t0, Real t1, Matrix x, void dx(),
             void input()); : h=4.0E-2, dtsav=1.0E-3
List Ode45(Real t0, Real t1, Matrix x, void dx(),
             void input(), Real h); : dtsav=1.0E-3
List Ode45(Real t0, Real t1, Matrix x, void dx(),
             void input(), Real h, Real dtsav);
```

RKF45 の公式にしたがって，指定されたきざみ幅 h で，
常微分方程式の [t0,t1] 時刻の解を求める。
{T, X, U} = Ode45();
T: 時間の系列
X: 状態ベクトルの時系列
U: 入出力ベクトルの時系列

```
List Ode45Auto(Real t0, Real t1, Matrix x, void dx());
               : eps=1.0E-6, dtsav=1.0E-3,
                 dtmin=EPS, dtmax=abs(t1-t0)/5
List Ode45Auto(Real t0, Real t1, Matrix x, void dx(),
               void input());
               : eps=1.0E-6, dtsav=1.0E-3,
                 dtmin=EPS, dtmax=abs(t1-t0)/5
List Ode45Auto(Real t0, Real t1, Matrix x, void dx(),
               void input(), Real eps);
              : dtsav=1.0E-3, dtmin=EPS, dtmax=abs(t1-t0)/5
List Ode45Auto(Real t0, Real t1, Matrix x, void dx(),
               void input(), Real eps, Real dtsav);
              : dtmin=EPS, dtmax=abs(t1-t0)/5
List Ode45Auto(Real t0, Real t1, Matrix x, void dx(),
               void input(), Real eps,
```

```
              Real dtsav, Real dtmin);
             : dtmax=abs(t1-t0)/5
List Ode45Auto(Real t0, Real t1, Matrix x, void dx(),
              void input(), Real eps,
              Real dtsav, Real dtmin, Real dtmax);
```

きざみを自動調節しながら RKF45 の公式にしたがって
指定された誤差内で常微分方程式の [t0,t1] 時刻の解を求める。
ただし，きざみの最小値と最大値は dtmin と dtmax であり，
dtmax < dtsav のとき，dtmax = dtsav に設定される。
{T, X, U} = Ode45Auto();
T: 時間の系列
X: 状態ベクトルの時系列
U: 入出力ベクトルの時系列

```
List Ode45Hybrid(Real t0, Real t1, Real dt, Matrix x,
        void dx())               : h=4.0E-2, dtsav=1.0E-3
List Ode45Hybrid(Real t0, Real t1, Real dt, Matrix x,
        void dx(), void input()) : h=4.0E-2, dtsav=1.0E-3
List Ode45Hybrid(Real t0, Real t1, Real dt, Matrix x,
        void dx(), void input(), Real h) : dtsav=1.0E-3
List Ode45Hybrid(Real t0, Real t1, Real dt, Matrix x, void dx(),
        void input(), Real h, Real dtsav)
```

RKF45 の公式にしたがって，指定されたきざみ幅 h で，
常微分方程式の [t0,t1] 時刻の解を求める。ただし，
サンプリング間で外部入力は一定値をとる。
また，きざみ幅 h が省略されて，dt < 4.0E-2 のとき，
h = dt である．
{T, X, U} = Ode45Hybrid();
T: 時間の系列
X: 状態ベクトルの時系列
U: 入出力ベクトルの時系列


```
List Ode45HybridAuto(Real t0, Real t1, Real dt, Matrix x,
                     void dx())
                     : eps=1.0E-6, dtsav=1.0E-3,
                       dtmin=EPS, dtmax=abs(t1-t0)/5
List Ode45HybridAuto(Real t0, Real t1, Real dt, Matrix x,
                     void dx(), void input())
                     : eps=1.0E-6, dtsav=1.0E-3
                       dtmin=EPS, dtmax=abs(t1-t0)/5
List Ode45HybridAuto(Real t0, Real t1, Real dt, Matrix x,
                   void dx(), void input(), Real eps)
                 : dtsav=1.0E-3, dtmin=EPS, dtmax=abs(t1-t0)/5
List Ode45HybridAuto(Real t0, Real t1, Real dt, Matrix x,
                     void dx(), void input(), Real eps,
                     Real dtsav)
                    : dtmin=EPS, dtmax=abs(t1-t0)/5
List Ode45HybridAuto(Real t0, Real t1, Real dt, Matrix x,
                     void dx(), void input(), Real eps,
                     Real dtsav, Real dtmin)
                    : dtmax=abs(t1-t0)/5
List Ode45HybridAuto(Real t0, Real t1, Real dt, Matrix x,
                     void dx(), void input(), Real eps,
                     Real dtsav, Real dtmin, Real dtmax)
```

きざみを自動調節しながら RKF45 の公式にしたがって
指定された誤差内で常微分方程式の [t0,t1] 時刻の解を求める。
サンプリング間で外部入力は一定値をとる。
ただし，きざみの最小値と最大値は dtmin と dtmax であり，
dtmax < dtsav のとき，dtmax = dtsav に設定される。
{T, X, U} = Ode45HybridAuto();
T: 時間の系列
X: 状態ベクトルの時系列

U: 入出力ベクトルの時系列

```
void OdeStop();
```
Ode(), OdeAuto(), OdeHybrid(), OdeHybridAuto(), Ode45(), Ode45Auto(), Ode45Hybrid(), Ode45HybridAuto()の実行を強制的にストップする．

```
List OdeXY(Real t);
```
Ode(), OdeAuto(), OdeHybrid(), OdeHybridAuto(), Ode45(), Ode45Auto(), Ode45Hybrid(), Ode45HybridAuto()の実行中に時刻 t の状態と入出力を返す。

```
{X_d, Y_d} = OdeXY(t)
```

遅れのあるシステムのシミュレーションに用いる。

```
Matrix M1, M2;
Integer row, col;
```

```
List size(M1);
```
行数と列数のリスト

```
{row, col} = size(M1);
```

```
List eig(M1);
```
固有値問題

```
{val, vec} = eig(M1);
M1 * vec = vec * val;
```
val: 固有値（対角行列）

vec: 固有ベクトル

```
List eig(M1, M2);
```
一般固有値問題

```
{val, vec} = eig(M1, M2);
M1 * vec = M2 * vec * val;
```


val: 一般固有値（対角行列）

vec: 一般固有ベクトル

```
Matrix M1;
```

```
List svd(M1);
```
特異値分解

```
{U, D, V} = svd(A);
U * D * V# = A;
```
U: 左特異ベクトル

V: 右特異ベクトル

D: 特異値（A と同じ大きさの行列）

```
List lu(M1);
```
LU 分解

```
{L, U, P} = lu(A);
L * U = P * A;
```
L: 下三角行列

U: 上三角行列

P: 置換行列

```
List hess(M1);
```
Hessenberg 分解

```
{Q, H} = hess(A);
Q# * A * Q = H;
```
Q: 直交行列 or ユニタリ行列

H: ヘッセンベルグ行列

```
List schur(M1);
```
Schur 分解

```
{U, T} = schur(A);
U# * A * U = T;
```
U: 直交行列 or ユニタリ行列

T: 擬似上三角行列 or 上三角行列，

```
Matrix M1, M2;
```

```
List qr(M1);            QR 分解
                        {Q, R} = qr(A);
                        Q * R = A;
                        Q: 直交行列 or ユニタリ行列
                        R: 上三角行列
List qr_p(M1);          QR 分解 (置換付)
                        {Q, R, P} = qr_p(A);
                        Q * R = A * P;
                        Q: 直交行列 or ユニタリ行列
                        R: 上三角行列
                        P: 置換行列
List qz(M1, M2);
                        QZ 分解
                        {AA, BB, Q, Z, VEC} = qz(M1, M2)
                        Q# * M1 * Z = AA;
                        Q# * M2 * Z = BB;
                        val = diag2vec(AA) ./ diag2vec(BB);
                        M1 * VEC = M2 * VEC * vec2diag(val);
                       AA: 上三角行列
                       BB: 上三角行列
                        Q: 直交行列 or ユニタリ行列
                        Z: 直交行列 or ユニタリ行列
                      VEC: 一般固有ベクトル
                      val: 一般固有値
```


15.9　配列関数

配列関数の一覧を以下に示す。

```
Integer  Rows(Array A1);          行の数
Integer  Cols(Array A1);          列の数
Integer  length(Array A1);        行と列の大きい方の数
Integer  isreal(Array A1);        実配列の有無（真 = 1, 偽 = 0)
Integer  iscomplex(Array A1);     複素配列の有無（真 = 1, 偽 = 0)
Integer  all(Array A1);           全ての成分がゼロでない
                                  (真 = 1, 偽 = 0)
Integer  all(Matrix M1);          全ての成分がゼロでない
                                  (真 = 1, 偽 = 0)
Array  all_col(Array A1);         列毎に全ての成分がゼロでない
                                  (真 = 1, 偽 = 0) の横ベクトル
Array  all_col(Matrix M1);        列毎に全ての成分がゼロでない
                                  (真 = 1, 偽 = 0) の横ベクトル
Array  all_row(Array A1);         行毎に全ての成分がゼロでない
                                  (真 = 1, 偽 = 0) の縦ベクトル
Array  all_row(Matrix M1);        行毎に全ての成分がゼロでない
                                  (真 = 1, 偽 = 0) の縦ベクトル
Integer  any(Array A1);           ゼロでない成分がある
                                  (真 = 1, 偽 = 0)
Integer  any(Matrix M1);          ゼロでない成分がある
                                  (真 = 1, 偽 = 0)
Array any_col(Array A1);          列毎にゼロでない成分がある
                                  (真 = 1, 偽 = 0) の横ベクトル
Array any_col(Matrix M1);         列毎にゼロでない成分がある
                                  (真 = 1, 偽 = 0) の横ベクトル
Array any_row(Array A1);          行毎にゼロでない成分がある
                                  (真 = 1, 偽 = 0) の縦ベクトル
```

```
Array any_row(Matrix M1);
```
行毎にゼロでない成分がある
(真 = 1, 偽 = 0) の縦ベクトル

```
Array    finite(Array A1);
```
各成分に対して有限の有無を調べる
無限大あるいは NaN である成分の所が
0 , それ以外の成分の所が 1 である
配列を返す

```
Array    isnan(Array A1);
```
各成分に対して NaN の有無を調べる
NaN である成分の所が 1 ,
それ以外の成分の所が 0 である
配列を返す

```
Index find(Array A1);
```
ゼロでない成分の指数
A1 がベクトルでないとき ,
行順に成分を調べる

```
Index find(Matrix M1);
```
ゼロでない成分の指数
M1 がベクトルでないとき ,
行順に成分を調べる

```
Real   max(Array A1);
```
最大成分

```
Real   min(Array A1);
```
最小成分

```
Real   frobnorm(Array A1);
```
実配列フロベニウスノルム

```
Real   frobnorm(CoArray A1);
```
複素配列フロベニウスノルム

```
Polynomial frobnorm(PoArray A1);
```
多項式配列フロベニウスノルム

```
Rational   frobnorm(RaArray A1);
```
有理多項式配列フロベニウスノルム

```
Real sum(Array A1);
```
全ての成分の和

```
Complex sum(CoArray A1);
```
全ての成分の和

```
Polynomail sum(PoArray A1);
```
全ての成分の和

```
Rational sum(RaArray A1);
```
全ての成分の和

```
Real prod(Array A1);
```
全ての成分の積


```
Complex prod(CoArray A1);
```
全ての成分の積

```
Polynomial prod(PoArray A1);
```
全ての成分の積

```
Rational prod(RaArray A1);
```
全ての成分の積

```
Real mean(Array A1);
```
全ての成分の平均値

```
Complex mean(CoArray A1);
```
全ての成分の平均値

```
Polynomial mean(PoArray A1);
```
全ての成分の平均値

```
Ratioanal mean(RaArray A1);
```
全ての成分の平均値

```
Real std(Array A1);
```
全ての成分の標準偏差

```
Complex std(CoArray A1);
```
全ての成分の標準偏差

```
Polynomial std(PoArray A1);
```
全ての成分の標準偏差

```
Rational std(RaArray A1);
```
全ての成分の標準偏差

```
Array cumsum(Array A1);
```
全ての成分の累積和

```
Array cumprod(Array A1);
```
全ての成分の累積積

```
Array A1;
```

```
Array sum_col(A1);
```
(縦・横) ベクトルの成分の和
列毎の和からなる横ベクトル

```
Array sum_row(A1);
```
(縦・横) ベクトルの成分の和
行毎の和からなる縦ベクトル

```
Array prod_col(A1);
```
(縦・横) ベクトルの成分の積
列毎の積からなる横ベクトル

```
Array prod_row(A1);
```
(縦・横) ベクトルの成分の積
行毎の積からなる縦ベクトル

```
Array mean_col(A1);
```
(縦・横) ベクトルの成分の平均値
列毎の平均値からなる横ベクトル

```
Array mean_row(A1);
```
(縦・横) ベクトルの成分の平均値

```
                          行毎の平均値からなる縦ベクトル
Array std_col(A1);        (縦・横) ベクトルの成分の標準偏差
                          列毎の標準偏差からなる横ベクトル
Array std_row(A1);        (縦・横) ベクトルの成分の標準偏差
                          行毎の標準偏差からなる縦ベクトル
Array cumsum_col(A1);     列毎の累積和からなる横ベクトル
Array cumsum_row(A1);     行毎の累積和からなる縦ベクトル
Array cumprod_col(A1);    列毎の累積積からなる横ベクトル
Array cumprod_row(A1);    行毎の累積積からなる縦ベクトル


Real d1, d2;
Integer split;

Array logspace(d1, d2)
                対数空間ベクトル (split=50)
Array logspace(d1, d2, split)
                対数空間ベクトル
Array linspace(d1, d2)
                線形空間ベクトル (split=100)
Array linspace(d1, d2, split)
                線形空間ベクトル


Array A1, A2;
Integer i1,k;
Real r1;

Array vec2diag(A1);             縦ベクトルから対角配列
Array vec2diag(A1, k);
                                縦ベクトルから対角配列
                                (k だけ主対角より上)
```



```
Array diag2vec(A1);             対角配列から縦ベクトル
Array diag2vec(A1, k);
                                対角配列から縦ベクトル
                                (k だけ主対角より上)
Array fliplr(A1);               列を逆順に並べる
Array flipud(A1);               行を逆順に並べる
List  sort(A1);                 成分を昇べきの順にソートする
                                複素配列の場合，絶対値でソート
{A2, idx} = sort(A1);           A2:  ソートした結果の配列
                                idx: ソートに使った指数
                                A2 = A1(idx)
List size(A1);                  行数と列数のリスト
                                {row, col} = size(A1);
Array rand(m);                  m x m の一様乱数配列
Array rand(m, n);               m x n の一様乱数配列
Array rand(A1);                 A1 と同じ大きさの一様乱数配列
Array randn(A1);                A1 と同じ大きさの正規乱数配列
Array randn(m);                 m x m の正規乱数配列
Array randn(m, n);              m x n の正規乱数配列
Array max(A1, A2);              A1 と A2 の大きい方の成分
                                からなる配列（複素配列の場合，
                                絶対値によって比較する
Array min(A1, A2);              A1 と A2 の小さい方の成分
                                からなる配列（複素配列の場合，
                                絶対値によって比較する
Array rem(A1, i1);              A1 の各成分に対して rem() を
                                計算する
Array rem(A1, r1);              A1 の各成分に対して rem() を
                                計算する
Array rem(A1, A2);              A1 と A2 の成分毎に rem() を
```

計算する

```
Array data;
Integer n;

Array fft(data);        高速フーリエ変換
Array fft(data, n);     高速フーリエ変換
                        n = 2^m
Array ifft(data);       高速逆フーリエ変換
Array ifft(data, n);    高速逆フーリエ変換
                        n = 2^m


Array A1;
Integer i1;
Real tol;

Array sgn(A1);          各成分の sgn() の結果からなる配列
Array abs(A1);          各成分の abs() の結果からなる配列
Array arg(A1);          各成分の arg() の結果からなる配列
Array exp(A1);          各成分の exp() の結果からなる配列
Array sqrt(A1);         各成分の sqrt() の結果からなる配列
Array log(A1);          各成分の log() の結果からなる配列
Array log10(A1);        各成分の log10() の結果からなる配列
Array conj(A1);         各成分の conj() の結果からなる配列
Array inv(A1);          各成分の inv() の結果からなる配列 (A1~)
Array sin(A1);          各成分の sin() の結果からなる配列
Array asin(A1);         各成分の asin() の結果からなる配列
Array sinh(A1);         各成分の sinh() の結果からなる配列
Array asinh(A1);        各成分の asinh() の結果からなる配列
Array cos(A1);          各成分の cos() の結果からなる配列
```



```
Array acos(A1);         各成分の acos() の結果からなる配列
Array cosh(A1);         各成分の cosh() の結果からなる配列
Array acosh(A1);        各成分の cosh() の結果からなる配列
Array tan(A1);          各成分の tan() の結果からなる配列
Array atan(A1);         各成分の atan() の結果からなる配列
Array tanh(A1);         各成分の tanh() の結果からなる配列
Array atanh(A1);        各成分の atanh() の結果からなる配列
Array ceil(A1);         各成分の ceil() の結果からなる配列
Array floor(A1);        各成分の floor() の結果からなる配列
Array fix(A1);          各成分の fix() の結果からなる配列
Array round(A1);        各成分の round() の結果からなる配列
Array round2z(A1)       ゼロへの丸め (tol = EPS)
Array round2z(A1, tol)  絶対値が tol より小なら 0
Array pow(A1, i1);      各成分の pow() の結果からなる配列
                        ( A1^i1 )
Array trans(A1);        A1 の転置 ( A1' )
Array conjtrans(A1);    A1 の共役転置 ( A1# )
```

第16章　リスト

リストは，任意のクラスの値を成分として持つことができる 1 次元配列である。リストを利用して，複数個の戻り値を同時に返す関数を定義することができる。

[宣言]

```
List a, b, c;
```

[例]

```
{4, (3,4), [1 2]}, {"Hello", s+1, (s+1)/(s+2)}
```

16.1　リストの記述方法

リストを記述するには，成分となる値をコンマ “,” で区切って書き並べ，ブレース { と } で囲む。

```
x = {4, (3,4), [1 2]};
```

により，成分が整数，複素数，行列であるリスト x に代入される。リストの成分には任意の式を書くことができる。

```
x = {sqrt(3.0), ((1.0+2.0)*4.0,:), [1 2] + [3 4]};
```

により，成分が実数，複素数，行列であるリストが x に代入される。関数

makelist() を使って，任意個の成分を持つリストを定義することができる。この時，リストの成分は未定義 (UNDEF) である。

```
x = makelist(3);
```

16.2　リスト成分の参照と代入

リストのそれぞれの成分は，丸括弧（ と ）の間に指数とその成分のクラス名を書くことにより参照することができる。(指数は 1 から始まることに注意すること)

```
x = {sqrt(3.0), ((1+2)*4,:), [1 2] + [3 4]};
a = x(1, Real);                              // a = 1.732
b = x(2, Complex);                           // b = (12,0)

a2 = {sqrt(3.0), ((1+2)*4,:)}(1, Real);    // a2 = 1.732
b2 = {sqrt(3.0), ((1+2)*4,:)}(2, Complex); // b2 = (12,0)
```

丸括弧（ と ）の間に指数を入れて左辺に書くことによって，右辺の任意の値をリストの成分に代入することができる。(指数は 1 から始まる。) また，丸括弧（　と ）の間に成分の範囲を指定して，左辺に書くことによって，右辺のリストをその位置に代入することができる。右辺のリストの長さは，指定された範囲の長さ以上でなければならない。もし，右辺のリストの方が長い場合は，前の方の成分だけが左辺のリストに代入され，残りの成分は捨てられる。

```
x = makelist(4);
x(1) = (3,4);
a = x(1, Complex);  // a = (3,4)
x(2:3) = {sqrt(3.0), (5,6), [1 2] + [3 4], "Hello"};
// x = {(3,4), 1.732, (5,6), [4 6]}
```

16.3　リスト成分の付加

リストに新しい成分を付加するには関数 appendlist() を使うか，+オペレータを使う。

```
x = {sqrt(3.0), ((1.0+2.0)*4.0,:)};
appendlist(x, "Hello");
// x ---> {sqrt(3.0), ((1.0+2.0)*4.0,:), "Hello"}

y = {sqrt(3.0), ((1.0+2.0)*4.0,:)};
y = y + {"Hello"};
// y ---> {sqrt(3.0), ((1.0+2.0)*4.0,:), "Hello"}
```

16.4　リストの合成と取り出し

長いリストは，短いリストを成分として作ることができる。リスト x とリスト y から長いリスト z を作るには，

```
x = {4, (3,4), [1 2]};
y = {"Hello", 2.0};
z = {x, y};
// z = {{4, (3,4), [1 2]}, {"Hello", 2.0}}
```

のように書く。また，成分の範囲を指定することにより，リストの任意の部分を取り出すことができる。例えば，

```
x2 = x(1:2);                    // x2 = {4, (3,4)}

x3 = {4, (3,4), [1 2]}(1:2);  // x3 = {4, (3,4)}
```

により，リスト x から最初の 2 個の成分を取り出すことができる。

16.5　リスト関数

リスト関数の一覧を以下に示す。関数 fscanf() の第 1 引数は，fopen() でオープンしたファイルのファイルディスクリプタを用いる。

```
Integer length(List L1);                  リストの成分の数
List    appendlist(List L1, Object A); L1 に成分 A を付加する。
List    fscanf(Integer fd, String format, ...);  ファイル入力
```

第17章　例題

この章では，いくつかの例題プログラムを紹介する。連続時間線形システムのリカッティ方程式と離散時間線形システムのリカッティ方程式の解を求めるプログラム，線形システムの伝達関数と伝達関数行列を求めるプログラム，線形システムのボードとナイキスト周波数応答を計算するプログラム，連続時間システムの状態フィードバック制御及び動的フィードバック制御のシミュレーションを行なうプログラムを紹介する。

17.1　連続系リカッティ方程式

連続時間の線形システムのリカッティ方程式の解法はハミルトン行列の固有値問題に帰着され [6]，そのプログラムの例を以下に示す。関数 eigvec() は固有値の実部の大きさの降順に固有ベクトルを並べて返すので，20–21 行目は，安定な固有値に対応する固有ベクトルを取り出す。以下は，リストの説明である。

- 1 行と 11 行: 関数の始まり。
- 3 行と 14 行: 局所変数の宣言。
- 6 行: キーボードから行列を読み込む。
- 7 行: 関数 CRiccati() を呼ぶ。
- 8 行: 解行列 P を表示する。
- 12 行: 関数の引数の宣言。
- 16 行: ハミルトン行列を作る [6]。
- 19 行: 固有ベクトルの計算。
- 22 行と 23 行: 行列 vec から安定な固有値に対する固有ベクトルを取り出す。vec(1:n,n+1:2*n) は vec の 1 行から n 行，n+1 列から 2n 列の部分行列，vec(n+1:2*n,n+1:2*n) は vec の n+1 行から 2n 行，n+1 列から 2n 列の部分行列である。
- 25 行と 26 行: 関数 isreal() は与えられた行列が実行列なら 1 を，そうでなければ 0 を返す。
- 27 行: 関数 Re() は行列の実部を返す。

```
   Func void main()
   {
     Matrix A, B, Q, R, P;      // 局所変数の宣言
     Matrix CRiccati();         // 関数の宣言
05:
     read A, B, Q, R;           // 行列エディタを起動
     P = CRiccati(A, B, Q, R); // CRiccati() を呼ぶ
     print P;                   // P を表示
   }
10:
   Func Matrix CRiccati(A, B, Q, R)
     Matrix A, B, Q, R;
   {
     Integer n;
15:  Matrix H, U, V, vec, P;

     n = Rows(A);
     H = [[ A   , -B*R~*B#]      // ハミルトン行列
          [-Q   , -A#     ]];
20:
     vec = eigvec(H);           // H の固有ベクトル
     U = vec(    1:n, n+1:2*n); // 安定な固有値に対応
     V = vec(n+1:2*n, n+1:2*n); // する固有ベクトルを
                                // 取り出す
25:  if (isreal(A) && isreal(B) &&
         isreal(Q) && isreal(R)) {
         P = Re(V*U~);
     } else {
         P = V*U~;
30:  }

     return P;
   }
```

List 1:　連続時間の線形システムのリカッティ方程式の解

17.2　離散系リカッティ方程式

離散時間の線形システムのリカッティ方程式の解を繰り返しにより求めるプログラムの例をに示す。実際の問題には一般化固有値問題に帰着する方法が有効である。解行列 P と一時変数行列 PP は，行列 A と同じ大きさの単位行列で初期化される。解行列 P と 1 回前の解行列 PP の差のフロベニウス・ノルムが eps より小さくなるまで離散時間系のリカッティ方程式の計算が繰り返される。以下は，リストの説明である。

- 1 行と 16 行: 関数の始まり。
- 3 行，19 行，20 行: 局所変数の宣言。
- 6 行，8 行，10 行，23 行: 定数行列の入力。
- 9 行，26 行，27 行: 行列の計算。
- 12 行: 関数 DRiccati() を呼ぶ。
- 13 行: 解行列 P を表示する。
- 17 行: 関数の引数の宣言。
- 26 行: 行列 P - PP のフロベニウスノルムの大きさを調べる。
- 28 行: 離散時間系のリカッティ方程式の計算
- 29 行: 行列 P の対称性を回復。

```
   Func void main()
   {
     Matrix A, B, C, Q, R, P, PP;
     Matrix DRiccati();
05:
     A = [[0 1][-3, 4]];       // システム行列
     B = [0 1]';
     C = [-2, 1];
     Q = C'*C;
10:  R = I(1);

     P = DRiccati(A, B, Q, R); // DRiccati() を呼ぶ
     print P;                  // P を表示
   }
15:
   Func Matrix DRiccati(A, B, Q, R)
     Matrix A, B, Q, R;
   {
     Matrix P, PP;
20:  Real eps;

     P = PP = I(A);          // 解 P の初期値
     eps = 1.0E-7;

25:  // 解が収束するまで繰り返す
     while (frobnorm(P - PP) > eps) {
         PP = P;
         P = Q + A'*P*A - A'*P*B*(R + B'*P*B)~ * B'*P*A;
         P = (P' + P)/2.0;   // P の対称性を回復
30:  }

     return P;               // 解 P を返す
   }
```

List 2:　離散時間リカッティ方程式の解

17.3　線形システムの伝達関数行列

線形システム

$$\begin{aligned} \dot{x} &= Ax + Bu \\ y &= Cx \end{aligned}$$

の伝達関数行列

$$\begin{aligned} G(s) &= C(sI - A)^{-1}B \\ &= C\frac{1}{\det(sI - A)}(\Gamma_{n-1}s^{n-1} + \Gamma_{n-2}s^{n-2} + \cdots + \Gamma_0)B \\ \det(sI - A) &= s^n + \alpha_{n-1}s^{n-1} + \alpha_{n-2}s^{n-2} + \cdots + \alpha_0 \end{aligned}$$

をファディーブのアルゴリズムにより求める。ファディーブのアルゴリズムによりΓ_iとα_iは，

$$\begin{array}{ll} \Gamma_{n-1} = I & \alpha_{n-1} = -tr(A\Gamma_{n-1}) \\ \Gamma_{n-2} = A\Gamma_{n-1} + a_{n-1}I & \alpha_{n-2} = -tr(A\Gamma_{n-2})/2 \\ \Gamma_{n-3} = A\Gamma_{n-2} + a_{n-2}I & \alpha_{n-3} = -tr(A\Gamma_{n-3})/3 \\ \cdots\ \cdots\ \cdots & \cdots\ \cdots\ \cdots \\ \Gamma_i = A\Gamma_{i+1} + \alpha_{i+1}I & \alpha_i = -tr(A\Gamma_i)/(n-i) \\ \cdots\ \cdots\ \cdots & \cdots\ \cdots\ \cdots \\ \Gamma_0 = A\Gamma_1 + \alpha_1 I & \alpha_0 = -tr(A\Gamma_0)/n \end{array}$$

と与えられる。ただし，$tr(X)$ は，行列 X の対角成分の和を意味する。

```
   Func void main()
   {
     Matrix A, B, C, G;     // 変数の宣言
     Matrix Faddeev();
05:
     read A, B, C;          // 行列の読み込み
     G = Faddeev(A, B, C); // Faddeev() を呼ぶ
     print G;               // G を表示
   }
10:
   Func Matrix Faddeev(A, B, C)
     Matrix A, B, C;
   {
     Matrix Gamma, N;
15:  Polynomial s, ch;
     Integer i, n;

     s = $;             // 多項式の変数
     n = Rows(A);       // システムの次数
20:
     Gamma = Z(n,A);
     ch = Polynomial(Z(1,n+1));
                        // 特性多項式
     ch(n) = 1.0;       // 最高次の係数は 1
25:
     Gamma(n-1,A) = I(n);
     ch(n-1) = - trace(A);

     for (i = n-2; i >= 0; i--) {
30:      Gamma(i,A) = A*Gamma(i+1,A) + ch(i+1)*I(n);
         ch(i) = - trace(A*Gamma(i,A))/(n - i);
     }

     N = Z(Rows(C), Cols(B));
35:  for (i = 0; i < n; i++) {
         N = N + C*Gamma(i,A)*B * s^i;
     }

     return N/ch;       // 伝達関数を返す
40:}
```

List 3:　ファディーブのアルゴリズムによる伝達関数の計算

17.4　線形システムのボードとナイキスト周波数応答

与えられた線形システムの伝達関数のボード線図とナイキスト線図を描くためのデータを計算する。以下は，リストの説明である。

- 1 行，19 行，33 行: 関数の始まり。
- 3 行，5 行，23 行，24 行，37 行，38 行: 局所変数の宣言。
- 6 行: 関数の宣言。
- 8 行: 多項式変数の定義。
- 9 行: 3 次実有理関数を入力。
- 11 行: 対数空間ベクトル。
- 12 行，13 行: 複数の戻り値を返す関数 `Bode()` と `Nyquist()` を呼ぶ。
- 20 行，21 行，34 行，35 行: 関数の引数の宣言。
- 26 行，40 行: 虚数単位の定義。
- 27 行，41 行: 有理関数配列の評価。(配列の各成分毎に評価する)
- 28 行，29 行: 配列演算。
- 30 行，42 行: 2 つの成分を持つリストを返す。

```
   Func void main()
   {
     Polynomial s;
     Rational G;
05:  Array w, ga, ph, re, im;
     List Bode(...), Nyquist(...);

     s = $;                          // 多項式変数
     G = (s^2 + 3*s + 4)/(s^3 + 5*s^2 + 6*s + 7);
10:                                  // 伝達関数
     w = logspace(0.01, 100.0);      // 周波数の範囲
     {ga, ph} = Bode(G, w);          // ゲインと位相
     {re, im} = Nyquist(G, w);       // 実部と虚部

15:  print [[w][re][im]] >> "nyquist.mat"; // データ保存
     print [[w][ga][ph]] >> "bode.mat";    // データ保存
   }

   Func List Bode(G, w)
20:  Rational G;
     Array w;
   {
     Complex j;
     Array data, ga, ph;
25:
     j = (0,1);                          // 虚数単位
     data = eval(G, j*w);                // G(j*w)
     ga = 20.0 * log10(abs(data)); // ゲイン [dB]
     ph = arg(data) * 180.0 / PI;  // 位相  [degree]
30:  return {ga, ph};
   }

   Func List Nyquist(G, w)
     Rational G;
35:  Array w;
   {
     Complex j;
     Array data;

40:  j = (0,1);                          // 虚数単位
     data = eval(G, j*w);                // G(j*w)
     return {Re(data), Im(data)};  // 実部と虚部
   }
```

List 4:　ボード線図とナイキスト線図

17.5　連続系システムのシミュレーション

17.5.1　状態フィードバック制御のシミュレーション (1)

連続系線形システム

$$\dot{x} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ -2 & -3 & -4 \end{bmatrix} x + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} u$$

に状態フィードバック

$$u = \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \end{bmatrix} x$$

を用いた連続時間制御とハイブリッド制御のシミュレーションを 4 次のルンゲ− クッタの公式にしたがって，きざみを自動調節しながら行なう [14]。

関数 main() はパラメータと初期状態を設定してシミュレーションを行ない，結果をファイル cont.mat に保存する。diff_eqs() は動的要素の微分方程式を記述するための関数であり，link_eqs() は動的要素の接続関係を記述するための関数である。

関数 Ode45Auto() と Ode45HybridAuto() は陽の非線形関数の積分を行なう。関数 Ode45Auto() は連続時間制御のシュミレーションを行ない，関数 Ode45HybridAuto() はサンプル値系 (ディジタルコントローラによる連続時間プラントの制御) のシュミレーションを行なう。

関数 Ode45Auto() は，5 個の引数をとる。引数は，初期時刻 (0.0)，最終時刻 (5.0)，初期状態ベクトル (x0)，微分係数ベクトル (dx) を計算する関数の参照 (diff_eqs)，入力ベクトル (u) を計算する関数の参照 (link_eqs) の 5 個である。関数 Ode45HybridAuto() は，上述の 5 個の引数に加えて，一定入力 (u) がプラントに与え続けられるサンプリング時間 (dt) を引数にとる。

微分係数ベクトルを計算する関数 diff_eqs() と入力ベクトルを計算する関数 link_eqs() は，特別なフォーマットでなければならない。関数 diff_eqs() は 4 個の引数を持つ。第 1 引数 (dx) は，微分係数ベクトルを返

すために使われ，状態ベクトル (x) と同じ次元である。第 2 引数 (t) は，現時刻を表す実数である。第 3 引数 (x) は，現時刻の状態ベクトルであり，第 4 引数 (u) は，動的要素への入力ベクトルである。関数 link_eqs() は 3 個の引数を持つ。第 1 引数 (u) は，入力ベクトルを返すために使われる。第 2 引数 (t) は，現時刻を表す実数である。第 3 引数 (x) は，現時刻の状態ベクトルである。


```
Func void main()
{
  Real dt;
  Matrix x0;
  Array TC, XC, UC, TH, XH, UH;
  void diff_eqs(), link_eqs();

  dt = 0.01;        // サンプリング時間
  x0 = [1 1 1]';    // 初期状態
  {TC,XC,UC} = Ode45Auto(0.0, 5.0, x0, diff_eqs, link_eqs);
  x0 = [1 1 1]';    // 初期状態
  {TH,XH,UH} =
     Ode45HybridAuto(0.0, 5.0, dt, x0, diff_eqs, link_eqs);

  print [[TC][XC][UC]] >> "cont.mat";
  print [[TH][XH][UH]] >> "hybd.mat";
}

Func void diff_eqs(dx, t, x, u)
  Real t;
  Matrix x, dx, u;
{
  Matrix A, b;

  A = [[ 0   1   0]       // システム行列
       [ 0   0   1]
       [-2, -3, -4]];

  b = [0 0 1]';           // 入力行列
  dx = A*x + b*u;         // 状態方程式
}

Func void link_eqs(u, t, x)
  Real t;
  Matrix u, x;
{
  Matrix f;

  f = [-1, -1, -1];   // 状態フィードバックゲイン
  u = f*x;
}
```

List 5:　状態フィードバック制御のシミュレーション (1)

17.5.2　状態フィードバック制御のシミュレーション (2)

前と同じ連続システムに対して，4 次のルンゲ- クッタの公式を直接使ってハイブリッド制御 (きざみを小さくすれば，連続時間制御と考えることもできる) のシミュレーションを行なう。

```
Func void main()
{
  Integer i, ii;
  Real dt, t, t1, t2;
  Matrix x, u, controller();
  Array X, U;
  void plant();

  t1 = 0.0;       // 初期時刻
  t2 = 5.0;       // 終端時刻
  dt = 0.01;      // きざみ
  ii = Integer((t2 - t1) / dt);

  x = [1 1 1]';  // 初期状態
  u = [0];

  X = Z(1, ii, x);
  U = Z(1, ii, u);

  t = t1;
  X(0, 0, x) = x;

  for (i = 1; i < ii; i++) {
    u = controller(t, x);
    x = rngkut4(t, x, plant, u, dt);

    U(0, i-1, u) = u;
    X(0, i, x) = x;
    t = t + dt;
  }
  u = controller(t, x);
  U(0, ii-1, u) = u;

  print [[X][U]] >> "cont.mat";
}
```



```
Func void plant(dx, t, x, u)
  Real t;
  Matrix x, dx, u;
{
  Matrix A, b;

  A = [[ 0   1   0]   // システム行列
       [ 0   0   1]
       [-2, -3, -4]];

  b = [0 0 1]';       // 入力行列

  dx = A*x + b*u;     // 状態方程式
}

Func Matrix controller(t, x)
  Real t;
  Matrix x;
{
  Matrix f, u;

  f = [-1, -1, -1];   // 状態フィードバック則
  u = f*x;
  return u;
}
```

List 6:　状態フィードバックのシミュレーション (2)

17.5.3　動的フィードバック制御のシミュレーション

下に示すようなシステムに動的フィードバックを施す場合の一般的なシミュレーションを行なう。関数 init_params() はプラントとコントローラのパラメータを設定する関数であり，関数 main() はパラメータと初期状態を設定してシミュレーションを行ない，結果をファイル cont.mat に保存する。diff_eqs() は動的要素の微分方程式を記述するための関数であり，link_eqs() は動的要素の接続関係を記述するための関数である。

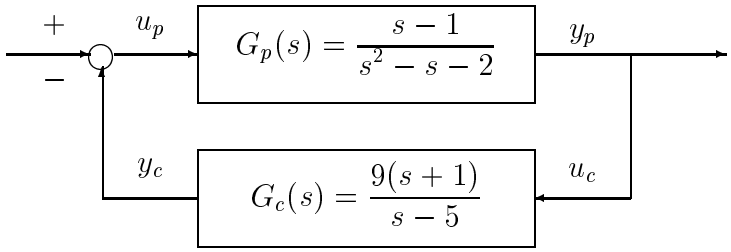


図 17.1: 制御対象とコントローラ

ここでは，制御対象と制御器のパラメータを大域変数として宣言するプログラムとパラメータを静的な局所変数として宣言するプログラムを示す。

ファイルから読み込みやキーボードから入力でパラメータを変更しながらシミュレーションを繰り返す場合は，大域変数を用いる方が都合が良い。しかし，大域変数はプログラム中の任意の場所で修正される可能性があり，変数名が衝突するなどの問題があるので，大規模なプログラムには用いない方が良い。一方，静的変数はそれが定義された関数内でのみ有効なので，他の関数の局所変数や大域変数と衝突することがないので大規模プログラムに有効である。


```
Matrix Ap, bp, cp;      // 制御対象のパラメータ
Matrxi Ac, bc, cc, dc; // 制御器のパラメータ

Func void init_params()
{
  // 制御対象のパラメータ
  Ap = [[0  1]
        [2  1]];
  bp = [0 1]';
  cp = [-1, 1];

  // 制御器のパラメータ
  Ac = [5];
  bc = [1];
  cc = [54];
  dc = [9];
}

Func void main()
{
  Matrix x0;
  Array TC, XC, UC;

  void diff_eqs(), link_eqs(), init_params();

  init_params();

  x0 = [1 0 0]';
  {TC, XC, UC} =
     Ode45Auto(0.0, 20.0, x0, diff_eqs, link_eqs);

  print [[TC][XC][UC]] >> "cont.mat";
}
```

List 7-1:　動的フィードバック制御のシミュレーション (大域変数使用)

```
Func void diff_eqs(DX, t, X, UY)
  Real t;
  Matrix X, DX, UY;
{
  Matrix dxp, dxc, xp, xc, up, uc;

  xp = X(1:2,1);          // 制御対象の状態
  xc = X(3:3,1);          // 制御器の状態
  up = UY(1:1,1);         // 制御対象への入力
  uc = UY(2:2,1);         // 制御器への入力

  dxp = Ap*xp + bp*up;    // 制御対象の状態方程式
  dxc = Ac*xc + bc*uc;    // 制御器の状態方程式

  DX = [[dxp][dxc]];
}

Func void link_eqs(UY, t, X)
  Real t;
  Matrix UY, X;
{
  Matrix xp, up, yp, xc, yc, uc;

  xp = X(1:2,1);          // 制御対象の状態
  xc = X(3:3,1)           // 制御器の状態

  yp = cp*xp;             // 制御対象の出力
  uc = yp;                // yp を uc に接続

  yc = cc*xc + dc*uc;     // 制御器の出力
  up = - yc;              // yc を up に接続

  UY = [up uc]';
}
```

List 7-2:　動的フィードバック制御のシミュレーション (大域変数使用)


```
Func void main()
{
  Matrix x0;
  Array TC, XC, UC;

  void diff_eqs(), link_eqs();

  x0 = [1 0 0]';
  {TC, XC, UC} =
     Ode45Auto(0.0, 20.0, x0, diff_eqs, link_eqs);
  print [[TC][XC][UC]] >> "cont.mat";
}

Func void diff_eqs(DX, t, X, UY)
  Real t;
  Matrix X, DX, UY;
{
  static Integer init;
  static Matrix Ap, bp, Ac, bc;
  Matrix dxp, dxc, xp, xc, up, uc;

  if (init == 0) {
    init = 1;
    Ap = [[0  1]        // 制御対象のパラメータ
          [2  1]];
    bp = [0 1]';
    Ac = [5];           // 制御器のパラメータ
    bc = [1];
  }

  xp = X(1:2,1);          // 制御対象の状態
  xc = X(3:3,1);          // 制御器の状態
  up = UY(1:1,1);         // 制御対象への入力
  uc = UY(2:2,1);         // 制御器への入力
  dxp = Ap*xp + bp*up;    // 制御対象の状態方程式
  dxc = Ac*xc + bc*uc;    // 制御器の状態方程式
  DX = [[dxp][dxc]];
}
```

List 7-3:　動的フィードバック制御のシミュレーション (静的変数使用)

```
Func void link_eqs(UY, t, X)
  Real t;
  Matrix UY, X;
{
  static Integer init;
  static Matrix cp, cc, dc;
  Matrix xp, up, yp, xc, yc, uc;

  if (init == 0) {
    init = 1;
    cp = [-1, 1];  // 制御対象のパラメータ
    cc = [54];     // 制御器のパラメータ
    dc = [9];
 }

  xp = X(1:2,1);           // 制御対象の状態
  xc = X(3:3,1)            // 制御器の状態

  yp = cp*xp;              // 制御対象の出力
  uc = yp;                 // yp を uc に接続

  yc = cc*xc + dc*uc;      // 制御器の出力
  up = - yc;               // yc を up に接続

  UY = [up uc]';
}
```

List 7-4:　動的フィードバック制御のシミュレーション (静的変数使用)

17.5.4　複雑なシステムのシミュレーション

ここでは，もっと複雑なシステムのシミュレーションを行なう方法を紹介する。システムが複雑になると，微分方程式を記述する関数 `diff_eqs()` や各システムの接続関係を記述する関数 `link_eqs()` の先頭において，拡大された状態 `X` から各システムの状態を取り出す作業が複雑になる。この作業を簡単にする関数 `VecCont()` と `VecChop()` の使い方を下図に示すシステムのシミュレーションを通して説明する。

図に示す各ブロック P,D,C,F はプラント，プラントの不確定要素，前置コントローラ，フィードバックコントローラを表し，各ブロックは線形状態方程式と線形出力方程式で記述され，その係数は (Ap, Bp, Cp), (Ad, Bd, Cd), (Ac, Bc, Cc), (Af, Bf, Cf) であるとする。

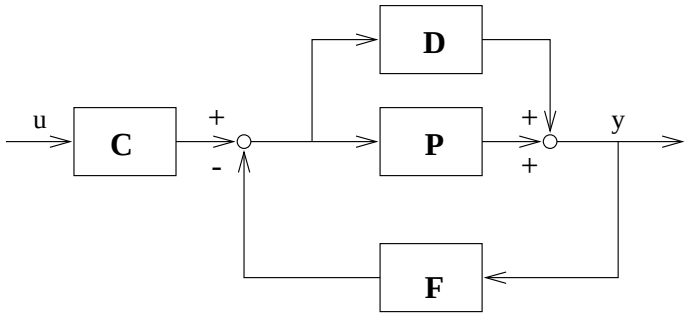


図 17.2: 複雑なシステムのシミュレーション

```
Matrix Ap, Bp, Cp; // 制御器のパラメータ
Matrix Ad, Bd, Cd; // 不確定要素のパラメータ
Matrix Ac, Bc, Cc; // 制御器 1 のパラメータ
Matrix Af, Bf, Cf; // 制御器 2 のパラメータ
List state_idx;    // 状態の指数のリスト
List input_idx;    // 入力の指数のリスト

Func void main()
{
  Matrix xp0, xd0, xc0, xf0, x0;
  Matrix up0, ud0, uc0, uf0, u0;
  Array TC, XC, UC;

  void diff_eqs(), link_eqs();

  read Ap, Bp, Cp <- "plant";
  read Ad, Bd, Cd <- "uncertainty";
  read Ac, Bc, Cc <- "controller-1";
  read Af, Bf, Cf <- "controller-2";
  read xp0, xd0, xc0, xf0 <- "init-states";
  read up0, ud0, uc0, uf0 <- "init-inputs";

  {x0, state_idx} = VecCont({xp0, xd0, xc0, xf0});
  {u0, input_idx} = VecCont({up0, ud0, uc0, uf0});
  {TC, XC, UC} =
     Ode45Auto(0.0, 20.0, x0, diff_eqs, link_eqs);

  print [[TC][XC][UC]] >> "cont.mat";
}
```



```
Func void diff_eqs(DX, t, X, U)
  Real t;
  Matrix X, DX, U;
{
  Matrix xp, xd, xc, xf;
  Matrix dxp, dxd, dxc, dxf;
  Matrix up, ud, uc, uf;

  {xp, xd, xc, xf} = VecChop(X, state_idx);
  {up, ud, uc, uf} = VecChop(U, input_idx);

  dxp = Ap*xp + Bp*up;
  dxd = Ad*xd + Bd*ud;
  dxc = Ac*xc + Bc*uc;
  dxf = Af*xf + Bf*uf;
  DX = [[dxp][dxd][dxc][dxf]];
}

Func void link_eqs(U, t, X)
  Real t;
  Matrix U, X;
{
  Matrix xp, xd, xc, xf;
  Matrix up, ud, uc, uf;
  Matrix yp, yd, yc, yf;

  {xp, xd, xc, xf} = VecChop(X, state_idx);

  yp = Ap*xp;
  yd = Ad*xd;
  yc = Ac*xc;
  yf = Af*xf;

  up = yc - yf;
  ud = up;
  uc = u;
  uf = yp + yd;
  U = [[up][ud][uc][uf]]';
}
```

List 8:　複雑なシステムのシミュレーション

謝辞

MATX の開発において御助言，御指導を賜わりました東京工業大学情報理工学研究科情報環境学専攻古田勝久教授に感謝致します。

また，東京工業大学情報理工学研究科情報環境学専攻古田研究室，三平研究室，同工学部制御システム工学科山北研究室，寄附講座の人々の貴重なフィードバックに感謝します。特に，開発当初より多くのバグを指摘して下さり，多くのアドバイスを賜わりました東京工業大学工学部制御システム工学科山北昌毅助教授に感謝致します。

最後になりました，MATX の開発に利用させて頂いた多くのフリーウェアの作者，移植者の方々に感謝致します。

関連図書

[1] K. J. Astrom. Computer aided modeling, analysis and design of control systems – a perspective. *Control Systems Magazine*, pages 4–16, 1983.

[2] J.J. Dongarra, C.B. Moler, J.R. Bunch, and G.W. Stewart. *LINPACK — Users' Guide*. SIAM, Philadelphia, 1979.

[3] George E. Forsythe, Michael A. Malcolm, and Cleve B. Moler. *Computer Methods for Mathematical Computations*. Prentice-Hall, 1977.

[4] B.S. Garbow, J.M. Boyle, J.J. Dongarra, and C.B. Moler. *Matrix Eigensystem Routines – EISPACK Guide Extension*. Springer-Verlag, 1977.

[5] Gene H. Golub and Charles F. Van Loan. *Matrix Computations*. The Johns Hopkins University Press, 1989.

[6] J.E.Potter. Matrix quadratic solution. *SIAM Journal on Appl. Math.*, 14:496–501, 1966.

[7] Brian W. Kernighan and Dennis M. Ritchie. *The C Programming Language*. Prentice-Hall, 1978.

[8] Brian W. Kernighan and Dennis M. Ritchie. *The C Programming Language(ANSI C)*. Prentice-Hall, second edition, 1988.

[9] Masanobu Koga and Katsuhisa Furuta. MaTX : A high-performance interactive software package for scientific and engineering computation. *Proc. of CADCS'91, Swansea, U.K.*, pages 39–44, 1991.

[10] Masanobu Koga and Katsuhisa Furuta. MaTX : A high-performance programming language (interpreter and compiler) for scientific and engineering computation. *Proc. of CACSD'92, Napa, U.S.A.*, pages 15–22, 1992.

[11] A. J. Laub. A schur method for solving algebraic riccati equations. *IEEE Trans. on AC*, 24(6), 1979.

[12] C. Moler, J. Littel, and S. Bangert. *PC-MATLAB – User's Guide*. N. Main St., Sherborn, MA 01770, USA, 3.1 edition, 1987.

[13] Cleve Moler. *MATLAB – User's Guide*. Alberquerque, USA, 1980.

[14] William H. Press, Brian P. Flannery, Saul A. Teukolsky, and William T. Veterling. *Numerical Recipes in C (The Art of Scientific Computing)*. Cambridge University Press, 1988.

[15] B.T. Smith, J.M. Boyle, J.J. Dongarra, B.S. Garbow, Y. Ikebe, V.C. Klema, and C.B. Moler. *Matrix Eigensystem Routines – EISPACK Guide*. Springer-Verlag, 1976.

[16] G.W. Stewart. *Introduction To Matrix Computations*. Academic Press, 1973.

[17] Robert Walker, Charles Gregory Jr., and Sunil Shah. MATRIXx: A data analysis, system identification, control design and simulation package. *Control Systems Magazine*, pages 30–37, 1982.

[18] 近藤 嘉雪. *yacc* による *C* コンパイラプログラミング. ソフトバンク, 1990.

[19] 古賀 雅伸 and 古田 勝久. 制御系解析・設計支援ツール. 第２９回計測自動制御学会学術講演会, pages 467–468, 1990.

[20] 石田 晴久 監訳. プログラミング言語 *C*. 共立出版株式会社, 1981.

[21] 石田 晴久 監訳. *UNIX* プログラミング環境. アスキー 出版局, 1985.

[22] 石田 晴久 監訳. プログラミング言語 *C* 第 *2* 版. 共立出版株式会社, 1989.

[23] 中島 信行. パソコンで学割り込みプログラミング, pages 100–201. CQ 出版社, 1992.

付 録A　データフォーマット

A.1　MATデータフォーマット

1. ファイルの第 1 行目は#で始まり，行数 (整数)，列数 (整数) が続き，複素行列のデータの場合には次に大文字の C が続く。
2. データはスペース，タブ，改行のいずれかで区切られる。
3. #で始まる行はコメントと見なされる。
4. 行末にある必要以上のデータは無視される。

実行列

$$\begin{bmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 \\ 5 & 6 & 7 & 8 \\ 9 & 10 & 11 & 12 \end{bmatrix}$$

をファイルに保存すると

```
# 3 4
  1.0000   5.0000   9.0000
  2.0000   6.0000   10.000
  3.0000   7.0000   11.000
  4.0000   8.0000   12.000
```

となり，複素行列

$$\begin{bmatrix} 1+2i & 3+4i & 5+6i \\ 7+8i & 9+10i & 11+12i \end{bmatrix}$$

をファイルに保存すると，

```
# 2 3 C
  1.0000   2.0000   7.0000   8.0000
  3.0000   4.0000   9.0000   10.000
  5.0000   6.0000   11.000   12.000
```

となる。フォーマット規則の 3 と 4 より，次のようなファイルを読み込むこともできる。

```
# 2 2
#
# This file contains data of simulation (1)
#
1.00 2.00  # This is the end of first column
# This line is commented out.
3.00 4.00  # This is the end of second column
#
# End of file
#
```

A.2　MXデータフォーマット

データファイルは，1 個以上の変数を含み，変数は，連続的に保存されている。それぞれの変数は，変数の属性を記述した情報を含む 20 バイトのヘッダーから始まる。20 バイトのヘッダーは，5 個の 4 バイト長の整数から構成されている。

1. 変数のタイプを表す整数。この整数を，[M|O|P|C] と表すと，

   M は，ファイルを書いたマシーンを表す。

マシーン	M
Sun	0x10
Appolo	0x10
Macintosh	0x10
PC	0x20
Other Intel	0x30
VAX D-float	0x40
VAX G-float	0x50

O は，行列データの保存される順序を表す。O が 0 なら，列毎にデータが保存され O が 1 なら，行毎にデータが保存される。

P は，データ精度を表す。

データ精度	P
倍精度 (64 ビット) 浮動小数点	0
単精度 (32 ビット) 浮動小数点	1
32 ビット符合付き整数	2
16 ビット符合付き整数	3
16 ビット符合なし整数	4
8 ビット符合なし整数	5

C は，データの型を表す。

データ型	C
Matrix	0
Integer	1
Real Number	2
Complex Number	3
String	4
Polynomial	5
Rational	6
List	7
Array	8
Index	9

2. 2 番目の整数は，データの型によって表すものが異なる。

データ型	名前	内容
Matrix	rows	行列の行の数
Integer	dummy	
Real Number	dummy	
Complex Number	dummy	
String	stringlen	文字列長
Polynomial	degree	次数
Rational	ndegree	分子の次数
List	length	成分の数
Array	rows	配列の行の数
Index	rows	1

3. 3 番目の整数は，データの型によって表すものが異なる。

データ型	名前	内容
Matrix	cols	行列の列の数
Integer	dummy	
Real Number	dummy	
Complex Number	dummy	
String	dummy	
Polynomial	dummy	
Rational	ddegree	分母の次数
List	dummy	
Array	cols	配列の列の数
Index	cols	指数の数

4. 4 番目の整数は，データの型によって表すものが異なる。

データ型	名前	内容
Matrix	class	0(実行列)
または	class	1(複素行列)
Array	class	2(実多項式行列)
または	class	3(複素多項式行列)
Index	class	4(実有理多項式行列)
	class	5(複素有理多項式行列)
Integer	dummy	
Real Number	dummy	
Complex Number	dummy	
String	dummy	
Polynomial	imagf	0(実多項式)
	imagf	1(複素多項式)
Rational	imagf	0(実有理多項式)
	imagf	1(複素有理多項式)
List	dummy	

5. 5 番目の整数は，データの名前の長さを表す。

データ型	名前	内容
Matrix	namelen	名前の長さ
Integer	namelen	名前の長さ
Real Number	namelen	名前の長さ
Complex Number	namelen	名前の長さ
String	namelen	名前の長さ
Polynomial	namelen	名前の長さ
Rational	namelen	名前の長さ
List	namelen	名前の長さ
Array	namelen	名前の長さ
Index	namelen	名前の長さ

20 バイトのヘッダーの次に，namelen 長の変数の名前が続く。最後の文字は，(0 でコード化される)NUL 文字である。この後のデータは，データ型によってことなる。

整数　データの精度に応じた整数 (2 バイトまたは，4 バイト)。

実数　データの精度に応じた実数 (4 バイトまたは，8 バイト)。

複素数　2 個のデータの精度に応じた実数 (4 バイトまたは，8 バイト)。

文字列　stringlen 長の文字列。最後の文字は，NUL 文字である。

多項式
- 実多項式　degree + 1 個の精度に応じた実数 (4 バイトまたは，8 バイト)。

	複素多項式	2×(degree + 1) 個の精度に応じた実数 (4 バイトまたは , 8 バイト)。
有理多項式	実有理多項式	ndegree + 1 個の精度に応じた実数 (4 バイトまたは , 8 バイト) , ddegree + 1 個の精度に応じた実数 (4 バイトまたは , 8 バイト)。
	複素有理多項式	2×(ndegree + 1) 個の精度に応じた実数 (4 バイトまたは , 8 バイト) , 2×(ddegree + 1) 個の精度に応じた実数 (4 バイトまたは , 8 バイト)。
行列	実行列	rows×cols 個の精度に応じた実数 (4 バイトまたは , 8 バイト)。
	複素行列	2×(rows×cols) 個の精度に応じた実数 (4 バイトまたは , 8 バイト)。
	実多項式行列	rows×cols 個の実多項式。(degree + 1 個の精度に応じた実数 (4 バイトまたは , 8 バイト))。
	複素多項式行列	rows×cols 個の複素多項式。(degree + 1 個の精度に応じた実数 (4 バイトまたは , 8 バイト))。
	実有理多項式行列	rows×cols 個の実有理多項式。(ndegree + 1 個の精度に応じた実数 (4 バイトまたは , 8 バイト) , ddegree + 1 個の精度に応じた実数 (4 バイトまたは ,8 バイト))。

	複素有理多項式行列	rows×cols 個の複素有理多項式。(2×(ndegree + 1) 個の精度に応じた実数 (4 バイトまたは , 8 バイト) , 2×(ddegree + 1) 個の精度に応じた実数 (4 バイトまたは , 8 バイト))。
リスト	length 個の成分のクラスを表す 4 バイト長整数とデータの結合。	
配列	実配列	rows×cols 個の精度に応じた実数 (4 バイトまたは , 8 バイト)。
	複素配列	2×(rows×cols) 個の精度に応じた実数 (4 バイトまたは , 8 バイト)。
	実多項式配列	rows×cols 個の実多項式。(degree + 1 個の精度に応じた実数 (4 バイトまたは , 8 バイト))。
	複素多項式配列	rows×cols 個の複素多項式。(degree + 1 個の精度に応じた実数 (4 バイトまたは , 8 バイト))。

実有理多項式配列　rows×cols 個の実有理多項式。(ndegree + 1 個の精度に応じた実数 (4 バイトまたは , 8 バイト) , ddegree + 1 個の精度に応じた実数 (4 バイトまたは ,8 バイト))。

複素有理多項式配列　rows×cols 個の複素有理多項式。(2×(ndegree + 1) 個の精度に応じた実数 (4 バイトまたは , 8 バイト) , 2×(ddegree + 1) 個の精度に応じた実数 (4 バイトまたは , 8 バイト))。

指数　cols 個の精度に応じた実数 (4 バイトまたは , 8 バイト)。

付 録B　メモリ管理

前節で述べたように MATX はクラスライブラリ MaTX-Lib を利用している。この節では，クラスライブラリ MaTX-Lib のメモリ管理機構について述べる。行列クラス，多項式クラス，有理多項式クラス，リストクラスは別々にメモリを管理しているが，全て同じ方式なので，ここでは行列クラスについて説明する。

B.1　行列クラスのメモリ管理

図 B.1 に示すように，メモリ管理はメモリの状態遷移という概念に基づいて行なわれる。メモリは関数呼び出しによって

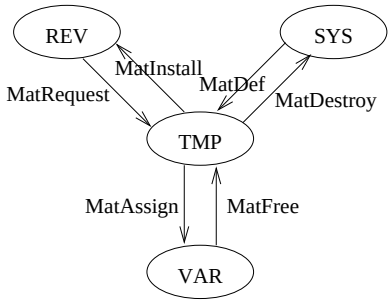


図 B.1: MATX のメモリ管理

1. SYS 状態 (OS によって管理されている状態)

2. TMP 状態 (malloc() によって OS からメモリを確保した状態)
3. VAR 状態 (変数に代入された状態)
4. REV 状態 (メモリ管理リストに登録された状態)

4 つの状態を遷移する。状態遷移に関係する関数について説明する。

- MaDef() は malloc() を使って OS からメモリを確保する。状態は SYS から TMP に移る。この状態の全てのメモリは，後述する MatTmpUndef() が呼び出されると，REV 状態に移る。
- MatDestroy() は free() を使って，全ての状態のメモリを解放して OS に戻す。すなわち，状態は SYS に移る。
- MatAssign() によって TMP 状態のメモリは VAR 状態に移る。これは変数に代入されたことを意味し，VAR 状態のメモリは，MatTmpUndef() が呼び出されても，影響されない。MatAssign() の後で MatTmpUndef() が呼び出され，全ての TMP 状態のメモリが REV 状態に移る。
- 数 MatFree() によって VAR 状態のメモリが TMP 状態に移動する。これは変数の値が必要でなくなったことを意味する。
- MatUndef() と MatInstall() によって TMP 状態のメモリは REV 状態に移り，メモリ管理リストに登録される。
- MatRequest() により REV 状態のメモリは TMP 状態に移る。一般に，関数 MatRequest() は関数 MatDef() より高速である。

行列クラスライブラリにおいてメモリが必要になった場合，まず，メモリ管理リストを調べて適当な大きさの行列が登録されていれば，そのメモリを用い，適当な大きさの行列が登録されていなければ，OS からメモリを確保する。このメモリ管理機構によって，関数 malloc() と free() が呼ばれる回数を減らし，内部処理の高速化を行なっている。特に，この方法はシミュレーションのように同じプログラムが繰り返し呼ばれる場合に有効である。

B.2　メモリの状態遷移

メモリの状態遷移の様子を次の例題を使って示す。

```
Func Matrix afo()
{
  Matrix A, B, C, D, E;

  A = [[1 2][3 4]];       // (1)
  B = [[5 6][7 8]];       // (2)
  C = A + B;              // (3)
  D = (A + B) * (A - B); // (4)
  E = (C + D) * (C - D); // (5)
  return E;               // (6)
}
```

プログラムが実行される前のメモリの状態は図 B.2 のようになっている。ただし，a, b, ..., k は 2×2 の大きさの行列のメモリを表している。関数が実

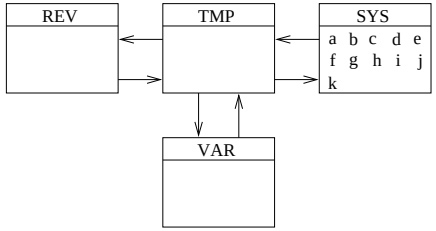


図 B.2: 行列のメモリ管理 (1)

行されて，式 (1) の右辺が評価されたときのメモリの状態は図 B.3 のようになっている。式 (1) の右辺が左辺に代入されたときのメモリ状態は図 B.4 のようになる。同様に式 (2) の代入の後，メモリ状態は図 B.5 のようになる。式 (3) の右辺が評価されたときのメモリの状態は図 B.6 のようになっている。式 (3) の右辺が左辺に代入されたときのメモリ状態は図 B.7 のようになる。式 (4) の右辺が評価されたときのメモリの状態は図 B.8 のようになっている。d, e, f には，それぞれ $(A+B)$, $(A-B)$, $(A+B)*(A-B)$ の計

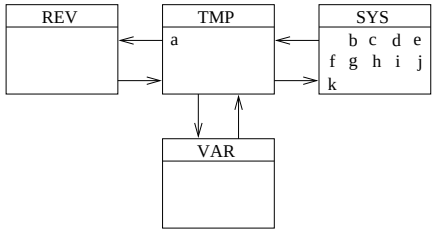


図 B.3: 行列のメモリ管理 (2)

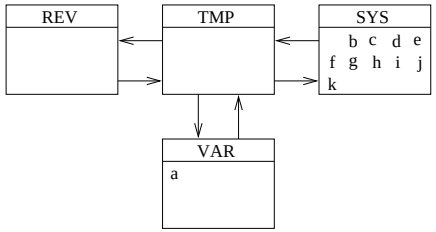


図 B.4: 行列のメモリ管理 (3)

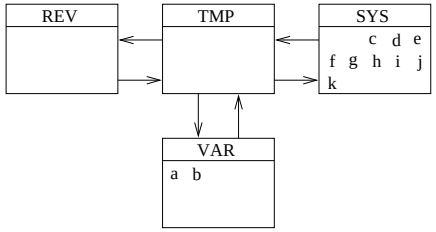


図 B.5: 行列のメモリ管理 (4)

算結果が入っている。式 (4) の右辺が左辺に代入されたときのメモリ状態は図 B.9 のようになる。$(A+B)*(A-B)$ の計算結果である f だけが VAR 状態となり，d と e は REV 状態となる。式 (5) の右辺が評価されたときのメモリの状態は図 B.10 のようになっている。d, e, g には，それぞれ $(C+D)$,

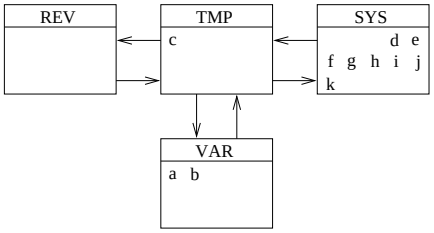


図 B.6: 行列のメモリ管理 (5)

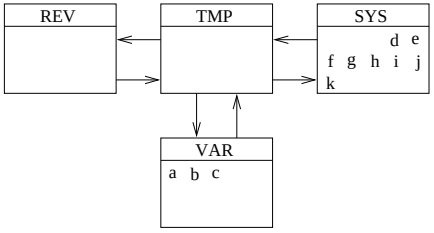


図 B.7: 行列のメモリ管理 (6)

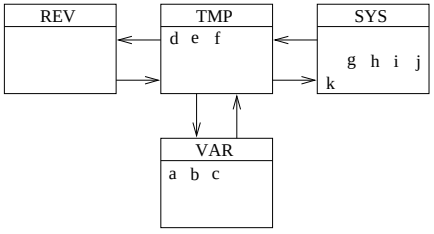


図 B.8: 行列のメモリ管理 (7)

$(C-D)$, $(C+D)*(C-D)$ の計算結果が入っている。d と e は REV 状態から g は SYS 状態から TMP 状態に移った。式 (5) の右辺が左辺に代入されたときのメモリ状態は図 B.11 のようになる。$(C+D)*(C-D)$ の計算結果である g だけが VAR 状態となり，d と e は REV 状態となる。関数が終了し

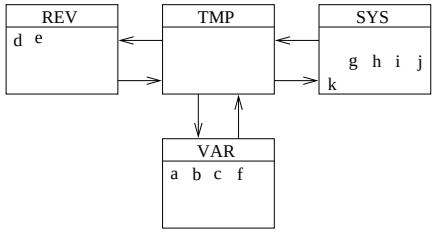


図 B.9: 行列のメモリ管理 (8)

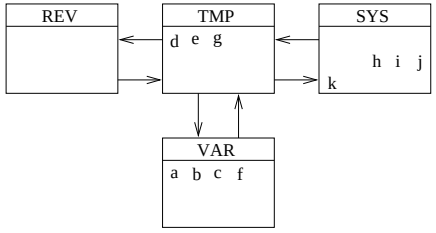


図 B.10: 行列のメモリ管理 (9)

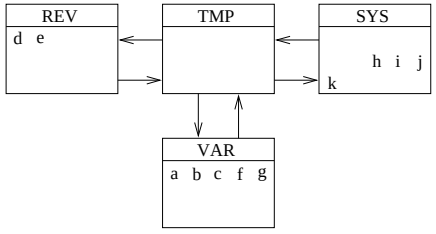


図 B.11: 行列のメモリ管理 (10)

たときのメモリの状態は図 B.12 のようになる。VAR 状態にあったメモリが全て TMP 状態となる。 関数の戻り値が変数に代入されると TMP 状態にある全てのメモリが REV 状態に移り，メモリの状態は図 B.13 のようになる。次に，この関数が呼び出されるときは，全てのメモリは REV 状態から確保され

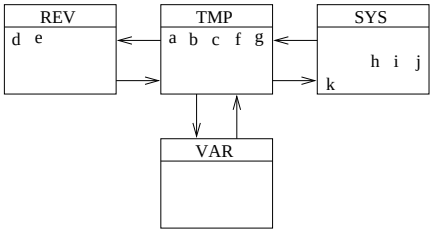


図 B.12: 行列のメモリ管理 (11)

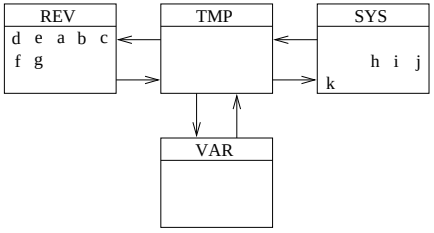


図 B.13: 行列のメモリ管理 (12)

ることになる。

付 録C　演算

二項算術演算子は+，-，*，.*，/，./，\，.\，^，.^である。+と-は同じ優先度を持つが，それは，同じ優先度の*，.*，/，./，\，.\，^，.^よりも低い。さらに，後者の優先度は単項演算子+，-，~，'，#の優先度より低い。算術演算子は左から右へまとめられて評価される。表 1 は，全演算子の優先度と結合規則をまとめたものである。 同一行の演算しは同じ優先度

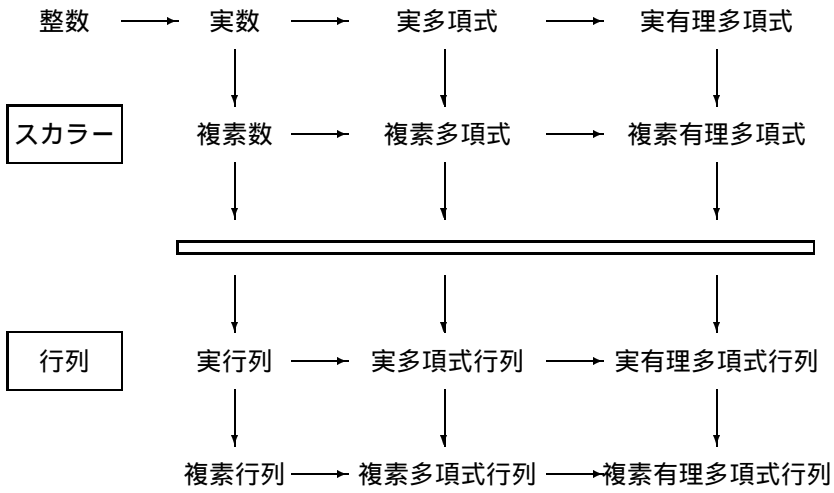
表 C.1: 演算子の優先度と結合規則

演 算 子	結合規則
( ) \$ [ ]	左から右
++ --	右から左
^ ~ ' # .^ .~	右から左
@ ! -	右から左
* / \ .* ./ .\	左から右
+ -	左から右
< <= > >=	左から右
== !=	左から右
&&	左から右
||	左から右
=	右から左

をもつものである。各行は優先度が減少する順に並べてある。例えば，*，/ は同じ優先度もち，2 項の+と-よりも高い。

二項演算においてクラスレベルの低い方の値は，下記の規則にしたがって

クラス変換される。演算結果はクラスレベルの高い方の値のクラスと一致する。(ただし，スカラー倍と累乗を除く。) 配列の演算は，各成分毎に演算が行なわれ，演算結果は，各成分の演算結果を成分とする配列になる。



C.1 和 (Addition)

```
整数                          = 整数 + 整数
実数                          = 実数 + 実数
複素数                        = 複素数 + 複素数
実多項式                      = 実多項式 + 実多項式
複素多項式                    = 複素多項式 + 複素多項式
実有理多項式                  = 実有理多項式 + 実有理多項式
複素有理多項式                = 複素有理多項式 + 複素有理多項式
実 (行列|配列)                = 実 (行列|配列) + 実 (行列|配列)
複素 (行列|配列)              = 複素 (行列|配列) + 複素 (行列|配列)
実多項式 (行列|配列)          = 実多項式 (行列|配列) + 実多項式 (行列|配列)
複素多項式 (行列|配列)        = 複素多項式 (行列|配列)
                                + 複素多項式 (行列|配列)
実有理多項式 (行列|配列)      = 実有理多項式 (行列|配列)
                                + 実有理多項式 (行列|配列)
複素有理多項式 (行列|配列)    = 複素有理多項式 (行列|配列)
                                + 複素有理多項式 (行列|配列)
(行列|配列|指数)              = (行列|配列|指数)
                                .+ (整数|実数|複素数|多項式|有理多項式)
(行列|配列|指数)              = (整数|実数|複素数|多項式|有理多項式)
                                .+ (行列|配列|指数)
文字列                        = 文字列 + 文字列
```


C.2 差 (Subtraction)

```
整数                          = 整数 - 整数
実数                          = 実数 - 実数
複素数                        = 複素数 - 複素数
実多項式                      = 実多項式 - 実多項式
複素多項式                    = 複素多項式 - 複素多項式
実有理多項式                  = 実有理多項式 - 実有理多項式
複素有理多項式                = 複素有理多項式 - 複素有理多項式
実 (行列|配列)                = 実 (行列|配列) - 実 (行列|配列)
複素 (行列|配列)              = 複素 (行列|配列) - 複素 (行列|配列)
実多項式 (行列|配列)          = 実多項式 (行列|配列) - 実多項式 (行列|配列)
複素多項式 (行列|配列)        = 複素多項式 (行列|配列)
                                - 複素多項式 (行列|配列)
実有理多項式 (行列|配列)      = 実有理多項式 (行列|配列)
                                - 実有理多項式 (行列|配列)
複素有理多項式 (行列|配列)    = 複素有理多項式 (行列|配列)
                                - 複素有理多項式 (行列|配列)
(行列|配列|指数)              = (行列|配列|指数)
                                .- (整数|実数|複素数|多項式|有理多項式)
(行列|配列|指数)              = (整数|実数|複素数|多項式|有理多項式)
                                .- (行列|配列|指数)
```

C.3　積 (Multiplication)

行列の積の結果が 1x1 の行列になっても，その値はスカラーではなく，行列として扱われる。

```
整数                          = 整数 * 整数
実数                          = 実数 * 実数
複素数                        = 複素数 * 複素数
実多項式                      = 実多項式 * 実多項式
複素多項式                    = 複素多項式 * 複素多項式
実有理多項式                  = 実有理多項式 * 実有理多項式
複素有理多項式                = 複素有理多項式 * 複素有理多項式
実 (行列|配列)                = 実 (行列|配列) * 実 (行列|配列)
複素 (行列|配列)              = 複素 (行列|配列) * 複素 (行列|配列)
実多項式 (行列|配列)          = 実多項式 (行列|配列) * 実多項式 (行列|配列)
複素多項式 (行列|配列)        = 複素多項式 (行列|配列)
                                * 複素多項式 (行列|配列)
実有理多項式 (行列|配列)      = 実有理多項式 (行列|配列)
                                * 実有理多項式 (行列|配列)
複素有理多項式 (行列|配列)    = 複素有理多項式 (行列|配列)
                                * 複素有理多項式 (行列|配列)
実行列                        = 実行列 .* 実 (行列|配列)
複素行列                      = 複素行列 .* 複素行列
実多項式行列                  = 実多項式行列 .* 実多項式行列
複素多項式行列                = 複素多項式行列 .* 複素多項式行列
実有理多項式行列              = 実有理多項式行列 .* 実有理多項式行列
複素有理多項式行列            = 複素有理多項式行列 .* 複素有理多項式行列
```

C.4　スカラ倍 (Scalar Multiplication)

```
実 (行列|配列)    = (整数|実数) * 実 (行列|配列)
実 (行列|配列)    = 実 (行列|配列) * (整数|実数)
複素 (行列|配列)  = (整数|実数) * 複素 (行列|配列)
複素 (行列|配列)  = 複素 (行列|配列) * (整数|実数)
複素 (行列|配列)  = 複素数 * 実 (行列|配列)
複素 (行列|配列)  = 実 (行列|配列) * 複素数
複素 (行列|配列)  = 複素数 * 複素 (行列|配列)
複素 (行列|配列)  = 複素 (行列|配列) * 複素数
```



```
実多項式 (行列|配列)    = 実多項式 * 実 (行列|配列)
実多項式 (行列|配列)    = 実 (行列|配列) * 実多項式
複素多項式 (行列|配列)  = 実多項式 * 複素 (行列|配列)
複素多項式 (行列|配列)  = 複素 (行列|配列) * 実多項式
複素多項式 (行列|配列)  = 複素多項式 * 実 (行列|配列)
複素多項式 (行列|配列)  = 実 (行列|配列) * 複素多項式
複素多項式 (行列|配列)  = 複素多項式 * 複素 (行列|配列)
複素多項式 (行列|配列)  = 複素 (行列|配列) * 複素多項式

実有理多項式 (行列|配列)    = 実有理多項式 * 実 (行列|配列)
実有理多項式 (行列|配列)    = 実 (行列|配列) * 実有理多項式
複素有理多項式 (行列|配列)  = 実有理多項式 * 複素 (行列|配列)
複素有理多項式 (行列|配列)  = 複素 (行列|配列) * 実有理多項式
複素有理多項式 (行列|配列)  = 複素有理多項式 * 実 (行列|配列)
複素有理多項式 (行列|配列)  = 実 (行列|配列) * 複素有理多項式
複素有理多項式 (行列|配列)  = 複素有理多項式 * 複素 (行列|配列)
複素有理多項式 (行列|配列)  = 複素 (行列|配列) * 複素有理多項式

実多項式 (行列|配列)    = (整数|実数) * 実多項式 (行列|配列)
実多項式 (行列|配列)    = 実多項式 (行列|配列) * (整数|実数)
複素多項式 (行列|配列)  = (整数|実数) * 複素多項式 (行列|配列)
複素多項式 (行列|配列)  = 複素多項式 (行列|配列) * (整数|実数)
複素多項式 (行列|配列)  = 複素数 * 実多項式 (行列|配列)
複素多項式 (行列|配列)  = 実多項式 (行列|配列) * 複素数
複素多項式 (行列|配列)  = 複素数 * 複素多項式 (行列|配列)
複素多項式 (行列|配列)  = 複素多項式 (行列|配列) * 複素数

実有理多項式 (行列|配列)    = (整数|実数) * 実有理多項式 (行列|配列)
実有理多項式 (行列|配列)    = 実有理多項式 (行列|配列) * (整数|実数)
複素有理多項式 (行列|配列)  = (整数|実数) * 複素有理多項式 (行列|配列)
複素有理多項式 (行列|配列)  = 複素有理多項式 (行列|配列) * (整数|実数)
複素有理多項式 (行列|配列)  = 複素数 * 実有理多項式 (行列|配列)
複素有理多項式 (行列|配列)  = 実有理多項式 (行列|配列) * 複素数
複素有理多項式 (行列|配列)  = 複素数 * 複素有理多項式 (行列|配列)
複素有理多項式 (行列|配列)  = 複素有理多項式 (行列|配列) * 複素数

文字列 = 整数 * 文字列
文字列 = 文字列 * 整数
```

C.5　逆 (Inverse)

```
実数           = 実数 ~ = 1.0 / 実数
複素数         = 複素数 ~ = 1.0 / 複素数
実行列         = 実行列 ~
複素行列       = 複素行列 ~
実配列         = 実配列 ~
複素配列       = 複素配列 ~
有理多項式配列 = 多項式配列 ~
有理多項式配列 = 有理多項式配列 ~
実有理多項式   = 実多項式 ~
複素有理多項式 = 複素多項式 ~
実有理多項式   = 実有理多項式 ~
複素有理多項式 = 複素有理多項式 ~
文字列         = 文字列 ~

   実行列         = 実行列 .~
   複素行列       = 複素行列 .~
   有理多項式行列 = 多項式行列 .~
   有理多項式行列 = 有理多項式行列 .~
   実配列         = 実配列 .~
   複素配列       = 複素配列 .~
   有理多項式配列 = 多項式配列 .~
   有理多項式配列 = 有理多項式配列 .~
```

C.6　商 (Division)

整数の割算では小数部は切捨てられる。行列と行列の商 “X = A \ B” は，“A * X = B” の解で，“X = A / B” は，“X * B = A” の解である。A が正方行列の時，LU 分解を用いて解が求められ，A が正方行列でない時，最小二乗解が求められる。

```
OP3 = OP1 / OP2 ----> (OP3 = OP1 * OP2~)
OP3 = OP1 \ OP2 ----> (OP3 = OP1~ * OP2)
```



```
   整数           = 整数 / 整数
   実数           = 実数 / 実数
   複素数         = 複素数 / 複素数

   実多項式       = 実多項式 / (整数|実数)
   複素多項式     = 実多項式 / 複素数
   複素多項式     = 複素多項式 / (整数|実数)
   複素多項式     = 複素多項式 / 複素数

   実有理多項式   = 実多項式 / 実多項式
   複素有理多項式 = 複素多項式 / 複素多項式
   実有理多項式   = 実有理多項式 / 実有理多項式
   複素有理多項式 = 複素有理多項式 / 複素有理多項式

実 (行列|配列)             = 実 (行列|配列) / 実 (行列|配列)
複素 (行列|配列)           = 複素 (行列|配列) / 複素 (行列|配列)
実多項式 (行列|配列)       = 実多項式 (行列|配列) / (整数|実数)
複素多項式 (行列|配列)     = 実多項式 (行列|配列) / 複素数
複素多項式 (行列|配列)     = 複素多項式 (行列|配列) / (整数|実数)
複素多項式 (行列|配列)     = 複素多項式 (行列|配列) / 複素数
実有理多項式 (行列|配列)   = 実有理多項式 (行列|配列) / (整数|実数)
複素有理多項式 (行列|配列) = 実有理多項式 (行列|配列) / 複素数
複素有理多項式 (行列|配列) = 複素有理多項式 (行列|配列) / (整数|実数)
複素有理多項式 (行列|配列) = 複素有理多項式 (行列|配列) / 複素数

   実行列         = 実行列 ./ 実行列
   複素行列       = 複素行列 ./ 複素行列
   有理多項式行列 = (実|複素|多項式|有理多項式) 行列 ./ 多項式行列

   整数           = 整数 \ 整数
   実数           = 実数 \ 実数
   複素数         = 複素数 \ 複素数

   実有理多項式   = 実多項式 \ (整数|実数)
   複素有理多項式 = 実多項式 \ 複素数
   複素有理多項式 = 複素多項式 \ (整数|実数)
   複素有理多項式 = 複素多項式 \ 複素数
```

```
実有理多項式      = 実多項式 \ 実多項式
複素有理多項式    = 複素多項式 \ 複素多項式
実有理多項式      = 実有理多項式 \ 実有理多項式
複素有理多項式    = 複素有理多項式 \ 複素有理多項式

実（行列|配列）   = 実（行列|配列）\ 実（行列|配列）
複素（行列|配列）= 複素（行列|配列）\ 複素（行列|配列）

実行列            = 実行列 .\ 実行列
複素行列          = 複素行列 .\ 複素行列
有理多項式行列    = 多項式行列 .\（実|複素|多項式|有理多項式）行列
```

C.7　累乗 (Power)

指数が負の時，逆数 / 逆行列の指数の絶対値乗を意味する。特に多項式の場合，演算結果が有理多項式になることに注意すること。

```
整数                          = 整数 ^ 整数
実数                          = 実数 ^ 実数
複素数                        = 複素数 ^ 複素数
実多項式                      = 実多項式 ^ 整数
複素多項式                    = 複素多項式 ^ 整数
実有理課数                    = 実有理多項式 ^ 整数
複素有理課数                  = 複素有理多項式 ^ 整数
実（行列|配列）               = 実（行列|配列）^ 整数
複素（行列|配列）             = 複素（行列|配列）^ 整数
実多項式（行列|配列）         = 実多項式（行列|配列）^ 整数
複素多項式（行列|配列）       = 複素多項式（行列|配列）^ 整数
実有理多項式（行列|配列）     = 実有理多項式（行列|配列）^ 整数
複素有理多項式（行列|配列）= 複素有理多項式（行列|配列）^ 整数
```



```
実配列                = 実配列 ^ 実数
複素配列              = 実配列 ^ 複素数
複素配列              = 複素配列 ^ 実数
複素配列              = 複素配列 ^ 複素数

実配列                = 実配列 ^ 実配列
複素配列              = 複素配列 ^ 実配列
実多項式配列          = 実多項式配列 ^ 実配列
複素多項式配列        = 複素多項式配列 ^ 実配列
実有理多項式配列      = 実有理多項式配列 ^ 実配列
複素有理多項式配列 = 複素有理多項式配列 ^ 実配列

実行列                = 実行列 .^ 整数
複素行列              = 複素行列 .^ 整数
実多項式行列          = 実多項式行列 .^ 整数
複素多項式行列        = 複素多項式行列 .^ 整数
実有理多項式行列      = 実有理多項式行列 .^ 整数
複素有理多項式行列 = 複素有理多項式行列 .^ 整数

実行列                = 実行列 .^ 実数
複素行列              = 複素行列 .^ 実数
複素行列              = 複素行列 .^ 複素数

実行列                = 実行列 .^ 実行列
複素行列              = 複素行列 .^ 実行列
実多項式行列          = 実多項式行列 .^ 実行列
複素多項式行列        = 複素多項式行列 .^ 実行列
実有理多項式行列      = 実有理多項式行列 .^ 実行列
複素有理多項式行列 = 複素有理多項式行列 .^ 実行列

実行列                = （整数|実数）.^ 実行列
複素行列              = 複素数 .^ 実行列
実多項式行列          = 実多項式 .^ 実行列
複素多項式行列        = 複素多項式 .^ 実行列
実有理多項式行列      = 実有理多項式 .^ 実行列
複素有理多項式行列 = 複素有理多項式 .^ 実行列
```

C.8　転置 (Transpose)

スカラー (整数，実数，多項式，有理多項式) は転置によって変わらない。

```
整数                        = 整数'
実数                        = 実数'
複素数                      = 複素数'
実多項式                    = 実多項式'
複素多項式                  = 複素多項式'
実有理多項式                = 実有理多項式'
複素有理多項式              = 複素有理多項式'
実 (行列|配列)              = 実 (行列|配列)'
複素 (行列|配列)            = 複素 (行列|配列)'
実多項式 (行列|配列)        = 実多項式 (行列|配列)'
複素多項式 (行列|配列)      = 複素多項式 (行列|配列)'
実有理多項式 (行列|配列)    = 実有理多項式 (行列|配列)'
複素有理多項式 (行列|配列)  = 複素有理多項式 (行列|配列)'
```

C.9　複素共役転置 (Complex Conjugate Transpose)

整数，実数，実 (多項式，有理多項式) は複素共役転置によって変わらない。実 (行列，配列) の複素共役転置は，転置と同じである。

```
整数                        = 整数' = 整数#
実数                        = 実数' = 実数#
複素数                      = 複素数#
実多項式                    = 実多項式'= 実多項式#
複素多項式                  = 複素多項式#
実有理多項式                = 実有理多項式'= 実有理多項式#
複素有理多項式              = 複素有理多項式#
実 (行列|配列)              = 実 (行列|配列)' = 実 (行列|配列)#
複素 (行列|配列)            = 複素 (行列|配列)#
実多項式 (行列|配列)        = 実多項式 (行列|配列)'
                            = 実多項式 (行列|配列)#
複素多項式 (行列|配列)      = 複素多項式 (行列|配列)#
実有理多項式 (行列|配列)    = 実有理多項式 (行列|配列)'
                            = 実有理多項式 (行列|配列)#
複素有理多項式 (行列|配列)  = 複素有理多項式 (行列|配列)#
```


C.10　符合反転 (Negation)

```
整数                        = - 整数
実数                        = - 実数
複素数                      = - 複素数
実多項式                    = - 実多項式
複素多項式                  = - 複素多項式
実有理多項式                = - 実有理多項式
複素有理多項式              = - 複素有理多項式
実 (行列|配列)              = - 実 (行列|配列)
複素 (行列|配列)            = - 複素 (行列|配列)
実多項式 (行列|配列)        = - 実多項式 (行列|配列)
複素多項式 (行列|配列)      = - 複素多項式 (行列|配列)
実有理多項式 (行列|配列)    = - 実有理多項式 (行列|配列)
複素有理多項式 (行列|配列)  = - 複素有理多項式 (行列|配列)
```

C.11　{ポスト, プリ}{インクリメント, デクリメント}

MATX には変数のインクリメントとデクリメントに対して，C 言語のそれと同様な 2 つの演算子がある。インクリメント演算子 ++ はその被演算数に 1 を加え，デクリメント演算子 -- は 1 を引くものである。演算子 ++ と -- は前置演算子と後置演算子のどちらにも使える。

```
整数++      // 整数 = 整数 + 1
実数++      // 実数 = 実数 + 1.0
整数--      // 整数 = 整数 - 1
実数--      // 実数 = 実数 - 1.0
++整数      // 整数 = 整数 + 1
++実数      // 実数 = 実数 + 1.0
--整数      // 整数 = 整数 - 1
--実数      // 実数 = 実数 - 1.0
```

C.12　関係演算 (Relational Operation)

関係演算子は >, >=, <, <= である，これらは全て同じ優先度を持つ。ちょうど 1 つ下の優先を持つものとしては等価演算子 ==, != があり，これらは同じ優先度を持つ。関係演算子は算術演算子よりも優先度が低い。

整数 1 < 整数 2	整数 1 は整数 2 より小さい
整数 1 > 整数 2	整数 1 は整数 2 より大きい
整数 1 <= 整数 2	整数 1 は整数 2 より小さい，又は等しい
整数 1 >= 整数 2	整数 1 は整数 2 より大きい，又は等しい
整数 1 == 整数 2	整数 1 は整数 2 と等しい
整数 1 != 整数 2	整数 1 は整数 2 と等しくない
実数 1 < 実数 2	実数 1 は実数 2 より小さい
実数 1 > 実数 2	実数 1 は実数 2 より大きい
実数 1 <= 実数 2	実数 1 は実数 2 より小さい，又は等しい
実数 1 >= 実数 2	実数 1 は実数 2 より大きい，又は等しい
実数 1 == 実数 2	実数 1 は実数 2 と等しい
実数 1 != 実数 2	実数 1 は実数 2 と等しくない
行列 < 0	maxeigval(行列) < 0
行列 > 0	mineigval(行列) > 0
行列 <= 0	maxeigval(行列) <= 0
行列 >= 0	mineigval(行列) >= 0
行列 == 0	行列は零行列である
行列 != 0	行列は零行列でない
0 > 行列	maxeigval(行列) < 0
0 < 行列	mineigval(行列) > 0
0 >= 行列	maxeigval(行列) <= 0
0 <= 行列	mineigval(行列) >= 0
0 == 行列	行列は零行列である
0 != 行列	行列は零行列でない

行列 1 < 行列 2	maxeigval(行列 1 - 行列 2) < 0
行列 1 > 行列 2	mineigval(行列 1 - 行列 2) > 0
行列 1 <= 行列 2	maxeigval(行列 1 - 行列 2) <= 0
行列 1 >= 行列 2	mineigval(行列 1 - 行列 2) >= 0
行列 1 == 行列 2	行列 1 は行列 2 と等しい
行列 1 != 行列 2	行列 1 は行列 2 と等しくない
配列 1 < 配列 2	各成分の比較 (0|1) の配列
配列 1 > 配列 2	各成分の比較 (0|1) の配列
配列 1 <= 配列 2	各成分の比較 (0|1) の配列
配列 1 >= 配列 2	各成分の比較 (0|1) の配列
配列 1 == 配列 2	各成分の比較 (0|1) の配列
配列 1 != 配列 2	各成分の比較 (0|1) の配列

配列 <（整数|実数）	各成分の比較 (0|1) の配列
配列 >（整数|実数）	各成分の比較 (0|1) の配列
配列 <=（整数|実数）	各成分の比較 (0|1) の配列
配列 >=（整数|実数）	各成分の比較 (0|1) の配列
配列 ==（整数|実数）	各成分の比較 (0|1) の配列
配列 !=（整数|実数）	各成分の比較 (0|1) の配列
（整数|実数）< 配列	各成分の比較 (0|1) の配列
（整数|実数）> 配列	各成分の比較 (0|1) の配列
（整数|実数）<= 配列	各成分の比較 (0|1) の配列
（整数|実数）>= 配列	各成分の比較 (0|1) の配列
（整数|実数）== 配列	各成分の比較 (0|1) の配列
（整数|実数）!= 配列	各成分の比較 (0|1) の配列
文字列 1 == 文字列 2	文字列 1 は文字列 2 と等しい
文字列 1 != 文字列 2	文字列 1 は文字列 2 と一致しない
多項式 1 == 多項式 2	多項式 1 は多項式 2 と等しい
多項式 1 != 多項式 2	多項式 1 は多項式 2 と等しくない
有理多項式 1 == 有理多項式 2	有理多項式 1 は有理多項式 2 と等しい
有理多項式 1 != 有理多項式 2	有理多項式 1 は有理多項式 2 と等しくない

次の式は -a が正である (0 より大きい) かどうか調べる意図で書かれているが，< と- の間にスペースが無いので，まとめて <- として解釈され，文法エラーになる。< と - の間にスペースを入れると意図通りに解釈される。

```
print 0<-a;
```

C.13　論理演算 (Logical Operation)

論理演算子&&の優先度は||より高く，しかも両者は関係演算子や等値演算子より低い。論理値 0 は偽であり，0 以外の値は真である。単項否定演算子!は非零すなわち真である被演算数の値を 0 にし，0 すなわち偽である被演算数の値を 1 にする。

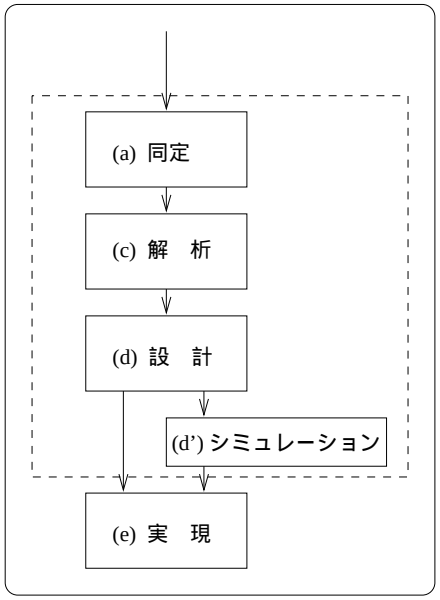
整数 1 && 整数 2	整数 1 と整数 2 が 0 でない時 1（論理積）
整数 1 || 整数 2	整数 1 か整数 2 が 0 でない時 1（論理和）
! 整数 1	整数 1 が 0 の時 1（否定）
実数 1 && 実数 2	実数 1 と実数 2 が 0.0 でない時 1（論理積）
実数 1 || 実数 2	実数 1 か実数 2 が 0.0 でない時 1（論理和）
! 実数 1	実数 1 が 0.0 の時 1（否定）
配列 1 && 配列 2	論理演算の結果を (0|1) の配列で返す
配列 1 || 配列 2	論理演算の結果を (0|1) の配列で返す
! 配列 1	論理演算の結果を (0|1) の配列で返す

付 録D　リアルタイム処理 (RTMATX)

MATX にリアルタイム処理機能を付加した RTMATX(リアルタイム MATX) を使えば，PC9801 シリーズおよび IBM PC 互換機の MS-DOS 上で動作するリアルタイム処理プログラムを作成することができる。

リアルタイムの割り込みなどのための関数が提供されており，ユーザはリアルタイム処理関数，画面表示 / コマンド入力関数を記述するだけでリアルタイム処理を行なうことができる。

制御系の解析設計は一般に下図のように行なわれるが，従来の制御系設計 CAD がサポートしているのは，同定・モデリングからシミュレーションまでの範囲であり，制御系の実現 (実際のプラントを実際に求められた制御器を用いて制御すること) は，専用マシン上でアセンブラ，C 言語などでプログラムを作成し，実行してきた。これでは，制御系を実行する前に複雑な専用マシンの使い方やアセンブラなどを覚えなければならないため，プログラムの開発，修正に多大な時間がかかる例が多くあった。RTMATX は，MATX 言語でプログラムを記述できるだけでなく，シミュレーション用に作成した関数をほとんどそのままリアルタイム制御に用いることができるので，制御系の実現が非常に容易になる。



制御系の解析設計手順

D.1　リアルタイム処理

ディジタル制御を行なうには，ある一定の時間 (サンプリング時間) 毎に

1. センサ (ポテンショメータなど) によるプラント出力の取り込み
2. 制御則の計算
3. アクチュエータ (モータなど) によるプラント入力の操作

の 3 つのステップを繰り返さなければならない。また，この他にも目標値や制御停止命令などを処理するので，多重処理のできるプログラムが必要である。

RTMATX では，PC9801 や IBM PC 互換機のインターバルタイマからの割り込みにより次の 3 つの処理を行なう。[23]

1. 割り込み処理
2. 制御処理
3. 画面表示 / コマンド入力処理

プログラムは，まず，処理 3(変数の表示，キーボードからの入力待ちなど) を行なっている。タイマからの割り込みがかかると，処理 3 を中断して処理 1 (RTMATX 内部での割り込み処理) を行ない，処理 2(センサ処理，制御則の計算，アクチュエータ処理など) が終了しているかどうか調べる。終了していない場合には，タイマ割り込みを停止し，タイムアウトエラーを発生する。終了している場合には，処理 2 を行なう。処理 2 が終わると処理 3 の続きを行なう。したがって，処理 2 はサンプリング時間毎に行なわれる。

注意

インターバル・タイマによる割り込みは，タイマのカウンタに値を設定することで実現しているので，カウント・クロックの整数倍以外のサンプリング時間を用いると μsec のオーダで誤差が生じるので，注意する必要がある。後述するサンプリング時間を設定する関数 `rtSetClock()` は実際に行なわれる割り込みのサンプリング時間を返すので，制御器の離散化などには，この値を用いる方が良い。

注意

DJGPP を用いた現在の RTMATX では，タイムアウトエラーが発生するとシステムがハングアップすることがある。したがって，短すぎるサンプリング時間を設定してはならない。

D.2　リアルタイム処理プログラムの作成

RTMATX には，リアルモードのリアルタイム処理プログラムを生成する Borland C 版と，プロテクトモードのリアルタイム処理プログラムを生成す

る DJGPP 版がある。Borland C 版が生成するリアルモードのプログラムは使用できるメモリ容量が 640KB 以下であり，ツールボックスの関数をほとんど組み込めないなどの制約をうけるが，タイムアウトエラーの検出が正しく行われる。一方，DJGPP の gcc が生成するプロテクトモードのプログラムはパソコンに実装されたメモリを全て使えるので，ほとんどメモリの制約がなく，ツールボックスの関数をたくさん組み込める。

また，DJGPP 版の RTMATX が生成したプログラムは，ハードリアルタイム性は保証されないものの，Windows95 の DOS 窓で使用できることが確認されている。DOS 窓でリアルタイム処理プログラムを実行するまえに，他の Windows のアプリケーションを終了することを勧める。

リアルタイム処理プログラムの作成手順は，DJGPP 版と Borland C 版で異なる。以下，それぞれについて説明する。

D.2.1　プロテクトモード RTMATX(DJGPP 版)

DJGPP 版[1]の RTMATX はプロテクトモードで動作するので，MS-DOS のメモリ制約を受けることなく，常駐させるデバイスドライバの選択に悩む必要がない。そして，パソコンに実装したメモリを全て使えるので大量のデータを保存することもできる。

リアルタイム処理プログラムを作成する手順例を次に示す。

```
A:> rtmatc sample.mm
```

rtmatc により実行可能プログラム sample.exe が生成される。複数のファイルから実行プログラムを生成する場合，以下のような `Makefile` を作成しておくと便利である。

[1] DJGPP は MATX の FTP サイトからフリーで入手できる

```
sample.exe: sample.o  file1.o file2.o
  rtmatc sample.o file1.o file2.o

sample.o: sample.mm
  rtmatc -c sample.mm

file1.o: file1.mm
  rtmatc -c file1.mm

file2.o: file2.mm
  rtmatc -c file2.mm
```

D.2.2　リアルモード RTMATX(Borland C 版)

Borland C を用いる RTMATX のリアルタイム処理プログラムの作成手順は次の 3 段階からなる。

1. rtmatc で .mm ファイルから .c ファイルを作成
2. rtmatccc で .c ファイルから .obj ファイルを作成
3. rtmatcc で .obj ファイルから .exe ファイルを作成

MS-DOS のメモリ制約のため，rtmatc は C プリプロセッサを内部から呼び出せないので，#define や#include などのプリプロセス機能を使うには，手順 1 の前に，cpp で .mmm(ソース) ファイルから .mm ファイルを作成しておく。matc は Borland C 付属の cpp が出力するコードを扱えないので，RTMATX と一緒に配布されている (util/bin ディレクトリにある)GNU の cpp を使う。また，MS-DOS のメモリ制約のため，config.sys から必要性の低いドライバを削除しないと，rtmatc や cpp が起動できないことがある。

リアルタイム処理プログラムを作成する手順例を次に示す。


```
A:> cpp sample.mmm > sample.mm
A:> rtmatc sample.mm
A:> rtmatccc sample.c
A:> rtmatcc sample
```

コンパイル，リンクを行なうコマンド rtmatccc や rtmatcc はバッチファイルであり，Borland C を使う場合を次に示す。

```
A:> type rtmatccc.bat

bcc @\rtmatx\bin\matx.rsp %1 %2 %3 %4 %5 %6 %7 %8 %9

A:> type rtmatcc.bat

tlink /c /s c0h %1 %2 %3 %4 %5,%1,%1,@\rtmatx\bin\libs.rsp
```

また，matx.rsp や libs.rsp にはコンパイルスイッチとリンクスイッチが記述されている。

```
A:> type matx.rsp

-c -mh -w-pro -w-par* -DMSDOS -DBRC20 -I. -I\rtmatx\include -DLST

A:> type libs.rsp

c:\rtmatx\lib\libmatx +
c:\borlandc\lib\emu +
c:\borlandc\lib\mathh +
c:\borlandc\lib\ch
```

以下のような Makefile を作成しておくと便利である。

```
sample.exe: sample.obj
  tlink /c /s c0h sample,sample,sample,@\rtmatx\bin\libs.rsp

sample.obj: sample.c
  bcc @\rtmatx\bin\matx.rsp sample.c

sample.c: sample.mm
  rtmatc sample.mm

sample.mm: sample.mmm
  cpp -traditional sample.mmm > sample.mm
```

D.3　動作環境

現在，RTMATX が動作する環境は，次の通りである。今のところ，リアルタイムプログラムはインタプリタ上では動作しない。

- IBM PC 互換機の MS-DOS 上で，DJGPP 2.01 [2]を用いる。
- PC9801 シリーズの MS-DOS 上で，Borland C++ 3.1 を用いる。
- IBM PC 互換機の MS-DOS 上で，Borland C++ 3.1 を用いる。

今後，動作環境を拡張して行く予定である。

D.4　プログラムの動作

リアルタイム処理プログラムの主な関数は，メイン関数 main()，リアルタイム処理関数 on_task()，画面表示 / コマンド入力ループ関数 off_task_loop() の 3 つである。

[2]DJGPP 2.01 は MATX の FTP サイトからフリーで入手できる

D.4.1　メイン関数

基本的なメイン関数 main() の例を次に示す。

```
Func void main()
{
  para_init();              // パラメータの設定
  var_init();               // 変数の初期化
  machine_ready();          // 実験装置（電源など）の準備

  rtSetClock(stime);        // サンプリング時間（秒単位）設定
  rtSetTask(on_task);       // リアルタイムタスクを設定
  rtSetBreak(break_task); // Ctrl-C による割込の処理を設定

  rtStart();                // リアルタイム処理を開始
  off_task_loop();          // 画面表示，コマンドの入力
  rtStop();                 // リアルタイム処理を停止

  machine_stop();           // 実験装置（電源など）の停止
}
```

コメントの説明を補足する。

- Real 型の変数 stime にはサンプリング時間が秒単位で設定されている。

- void 型の関数 break_task() はコントロール+C などの割り込みキーが押された時に呼ばれる関数であり，リアルタイム処理の停止などを記述しておく。
- 関数 rtStart() が実行されると，サンプリング時間毎に void 型の関数 on_task() が実行される。
- 関数 off_task_loop() では，変数の表示やコマンドの入力待ちのループが記述されており，この関数の実行が終わると，関数 rtStop() が呼ばれて，リアルタイム処理が停止する。

D.4.2　リアルタイム処理関数

リアルタイム処理関数 on_task() の例を次に示す。

```
Func void on_task()
{
  Real r;
  Matrix yy, y, xf, u;

  // 目標値の計算
  r = m1*sin(w1*stime*t) + m2*sin(w2*stime*t);
  t++;

  yy = sensor();          // センサーからの入力

  y = [[  r  - yy(1)]    // 観測出力 1
       [y(1) - yy(2)]]; // 観測出力 2

  xf = A * x + B * y;    // コントローラの状態を更新
  u =  C * x + D * y;    // 制御入力
  x = xf;                // コントローラの状態を保存

  actuator(u);           // アクチュエータへの出力
}
```

コメントの説明を補足する。

- プラントの出力が目標値に追従することを目的としているため，センサの出力から目標値を引いて観測出力としている。
- 関数 sensor() は，センサの測定値を A/D 変換器などで取り込んだ値を物理量に変換して返す。
- 関数 actuator() はアクチュエータの発生するトルクなどを操作する。この関数内部では D/A 変換器などを操作している。

D.4.3　画面表示 / コマンド入力ループ関数

画面表示 / コマンド入力ループ関数 off_task_loop() の例を次に示す。

```
Func void off_task_loop()
{
  Integer end_flag;

  end_flag = 0;
  do {
    if (rtIsTimeOut()) {  // タイムアウトのチェック
      warning("Time Out\n");
      break;
    }

    gotoxy(5, 11);          // 観測出力の表示
    printf("y1 = %f[m] y2 = %f[rad]", y(1), y(2));

    if (kbhit()) {          // コマンド入力
      switch (getch()) {
        case 0x1b:          // ESC キーが押されると
          end_flag = 1;     // ループが終了する
          break;
        default:
          break;
      }
    }
  } while (end_flag == 0);
}
```

- 関数 rtIsTimeOut() はサンプリング時間内にリアルタイム処理が終了したかどうかを調べる。処理が終了しなかった場合は，警告を出力して関数を終了する。
- ESC キーが押されるとループが終了し，関数も終了する。
- 関数 gotoxy() はプロンプトを移動する。
- 関数 kbhit() はキーボードが押されたかどうか調べる。
- 関数 getch() は押されたキーの値を読み込む
- gotoxy()，kbhit()，getch() は C コンパイラ付属の関数である。

D.4.4　実験装置のインターフェース関数

実験装置 (電源など) の準備をする関数 machine_ready() は

```
Func void machine_ready()
{
  void sensor_init(), actuator_init();

  sensor_init();      // センサの初期化
  actuator_init();    // アクチュエータの初期化

  pause "リターンキーを押すと、制御を開始します。";
}
```

のようにセンサの初期化とアクチュエータの初期化を行なう。

実験装置を停止する関数 machine_stop() は

```
Func void machine_stop()
{
  void actuator_stop();

  actuator_stop();
}
```

のようにアクチュエータを停止する。

割り込みキーが押された時に実行される関数 break_task() は

```
Func void break_task()
{
  void machine_stop();

  rtStop();
  machine_stop();
}
```

のようにリアルタイム処理を停止して，実験装置を停止する。

D.4.5　センサとアクチュエータのインターフェース関数

センサやアクチュエータとのインターフェースは次の 5 つの関数を使って行なう。

void sensor_init();	センサの初期化
void actuator_init();	アクチュエータの初期化
void actuator_stop();	アクチュエータの停止
void actuator();	アクチュエータへの出力
Matrix sensor();	センサからの入力

センサの初期関数の例を次に示す。

```
Func void sensor_init()
{
  void count_init();

  // 変換係数の設定 (m/カウント数)
  c_k = [[0.07489506 * 0.001]
         [0.04600000 * 0.001]
         [0.07501935 * 0.001]];

  count_init(); // カウンタの初期化
}
```

アクチュエータの初期関数の例を次に示す。

```
Func void actuator_init()
{
  void actuator_stop();

  apd = amd = fsp = fsm = fcp = fcm = Z(DA_CH, 1);

  // 変換係数の設定
  fsp(1) = 6.843;
  fcp(1) = 6.843/3;
  fsm(1) = 8.026;
  fcm(1) = 8.026/3;
  apd(1) = 8.355 ;
  amd(1) = 9.394 ;

  fsp(2) = 1.967 ;
  fcp(2) = 1.967/3;
  fsm(2) = 2.089 ;
  fcm(2) = 2.089/3;
  apd(2) = 1.050 ;
  amd(2) = 1.071 ;

  actuator_stop(); // アクチュエータ停止
}
```

アクチュエータを停止する関数の例を次に示す。

```
Func void actuator_stop()
{
  void da_zero();

  da_zero(); // D/A 出力を 0 にする
}
```

センサの出力を読み込む関数の例を示す。


```
Func Matrix sensor()
{
  Integer i;
  Matrix cnt_data;

  Integer count_get(); // カウンタ読み込み関数

  cnt_data = Z(CNT_CH,1);
  for (i = 1; i <= CNT_CH; i++){
    cnt_data(i) = c_k(i) * count_get(i);
  }

  return cnt_data;
}
```

アクチュエータへ出力する関数の例を示す。

```
Func void actuator(data)
  Matrix data;
{
  Integer i;
  Index da_port;
  Matrix v;

  void da_conv(); // D/A 出力関数

  v = Z(DA_CH, 1);
  for (i = 1; i <= DA_CH; i++) {
    if (data(i) >= 0.0) {
      v(i) = data(i) / apd(i);
    } else {
      v(i) = data(i) / amd(i);
    }
  }

  da_port = [1 2];
  da_conv(da_port, v);
}
```

D.4.6　入出力カード (D/A,カウンタ) のインターフェース関数

カウンタカードや D/A 変換カードのインターフェース関数の例を次に示す。RTMATX にはパソコンの I/O ポートをアクセスする関数，16 進数表記，整数のビット操作関数が準備されているので，それらを用いれば，I/O カードのインターフェース関数を RTMATX の関数として記述できる。もちろん，C 言語で関数を記述しリンクすることも簡単にできる。

カウンタ (CONTEC, CNT24-4(PC)) のモード設定関数，初期値設定関数，初期化関数の例を次に示す。

```
// カウンタのモード設定
Func void count_mode(port)
  Integer port;
{
  Outportb(CNT_COM, port + 1);
  Outportb(CNT_DAT, MODE_CNT);
}
```

```
// カウンタの初期値設定
Func void count_set(port, data)
  Integer port;
  Integer data;
{
  Outportb(CNT_COM, port);

  Outportb(CNT_DAT, rem(data, 0x100));
  data = data / 0x100;

  Outportb(CNT_DAT, rem(data, 0x100));
  data = data / 0x100;

  Outportb(CNT_DAT, rem(data, 0x1000));
}
```



```
// カウンタの初期化
Func void count_init()
{
  Integer i, ch_port;

  void count_mode(), count_set();

  for (i = 1; i <= CNT_CH; i++) {
    ch_port = 5 * (i - 1);
    count_mode(ch_port);
    count_set(ch_port, 0);
  }
}
```

カウンタの値を読み出す関数の例を次に示す。

```
Func Integer count_get(ch)
  Integer ch;
{
  Integer ch_port;
  Integer d1, d2, d3, data;

  ch_port = 5 * (ch - 1);

  Outportb(CNT_COM, 0x14);
  Outportb(CNT_DAT, 0x7);
  Outportb(CNT_COM, ch_port);

  d1 = Inportb(CNT_DAT);
  d2 = Inportb(CNT_DAT);
  d3 = Inportb(CNT_DAT);

  data = d3*0x10000 + d2*0x100 + d1;

  if (data > 0x800000) {
    data = data - 0xffffff - 1;
  }

  return data;
}
```

D/A 変換 (CONTEC) の出力関数の例を次に示す。

```
Func void da_conv(da_port, da_data)
  Index da_port;
  Matrix da_data;
{
  Integer i, data_i;
  Real data;

  for (i = 1; i <= length(da_port); i++) {
    data = da_data(i);
    if (data >= 10.0) {
      data = 9.9951;
    } else if (data <= -10.0) {
      data = -10.0;
    }

    data_i = Integer(4096.0 * (data + 10.0) / 20.0);
    if (rtIsTesting() == 0) {
      Outport(PORTNO_da, data_i*0x10 + da_port(i)-1);
    }
  }
}
```

D/A 変換器へ 0[v] に設定する関数の例を次に示す。


```
Func void da_zero()
{
  Integer i;
  Index da_port;
  Matrix da_data;

  void da_conv();

  da_port = Z(DA_CH, 1);
  da_data = Z(DA_CH, 1);
  for (i = 1; i <= DA_CH; i++) {
    da_port(i) = i;
    da_data(i) = 0.0;
  }
  da_conv(da_port, da_data);
}
```

D.5 メモリ管理

リアルタイム処理を実現にはメモリ管理に工夫が必要である。なぜなら，リアルタイム処理は高速に行なわれなければならないだけでなく，割り込み処理中はメモリ確保するためのシステムコールを呼び出せないからである。

M_ATX のメモリ管理機構は，この問題を解決するのに適している。その方法は，リアルタイム処理を始める前に一度だけ，リアルタイム処理関数を呼び出すことによって，リアルタイム処理中に必要なメモリをメモリ管理リストに登録するのである。

具体的には，関数 rtStart() が実行されると，サンプリング時間毎の割り込み処理が始まる前に 1 回だけ on_task() が実行される。この 1 回目の実行中かどうかは関数 rtIsTesting() によって調べることができる。このテスト中はアクチュエータから出力を出さないようにしなければならない。

関数 on_task() に条件分岐あると，1 回のテスト実行だけでは on_task() の実行に必要なメモリを正確に調べることができない。このような場合，全ての条件に関するテスト実行を

```
rtStartRehearsal()

条件 1;
on_task();

条件 2;
on_task();

条件 3;
on_task();

rtStopRehearsal()
```

のように rtStartRehearsal() と rtStopRehearsal() で囲んで行えば，on_task() の実行に必要なメモリをメモリ管理リストに登録できる。ただし，メモリ管理リストには無駄なメモリも登録されてしまう。

D.6　リアルタイム処理用関数

RTMATX のサポートするリアルタイム処理用の関数を以下に示す。

`void rtStart();`	サンプリング時間毎に rtSetTask() で設定された関数を実行する。
`void rtStop();`	サンプリング時間毎の関数の実行を停止する。
`void rtSetTask(on_task);` `void on_task();`	サンプリング時間毎に実行される関数を設定する。
`void rtSetBreak(break_task);` `void break_task();`	CTRL-C などの割り込みキーが押されたときに，実行される関数を設定する。

`Real rtSetClock(stime);` `Real stime;`	サンプリング時間を秒単位で設定する。
`void rtStartRehearsal();`	on_task() の実行に必要なメモリを調べるため on_task() をテスト実行する前に呼び出す。
`void rtStopRehearsal();`	on_task() のテスト実行を終了する。on_task() の実行に必要なメモリがメモリ管理リストへ追加される。
`Integer rtIsTimeOut();`	サンプリング時間内にリアルタイム処理が終わったか調べる。終わらなければ 1 が，終われば 0 が戻り値となる。
`Integer rtIsRunning();`	リアルタイム処理中かどうか調べる。リアルタイム処理中なら 1，そうでなければ 0 が戻り値となる。
`Integer rtIsTesting();`	リアルタイム処理のテスト中かどうか調べる。テスト中なら 1 が，そうでなければ 0 が戻り値となる。
`Integer Inport(portid);` `Integer portid;`	portid で指定したハードウェアポートから 1 ワードを読み込む。
`Integer Inportb(portid);` `Integer portid;`	portid で指定したハードウェアポートから 1 バイトを読み込む。
`void Outport(portid, value);` `Integer portid;`	portid で指定したハードウェアポートに value が指定する 1 ワード

```
    Integer value;
```
を出力する。

```
void Outportb(portid, value);
    Integer portid;
    Integer value;
```
portid で指定したハードウェアポートに value が指定する 1 バイトを出力する。

D.7　シミュレーションからリアルタイム処理へ

ここでは，図 D.1 に示す倒立振子のオブザーバ+状態フィードバックによる制御について，シミュレーションおよびリアルタイム制御のプログラムの例を示す。

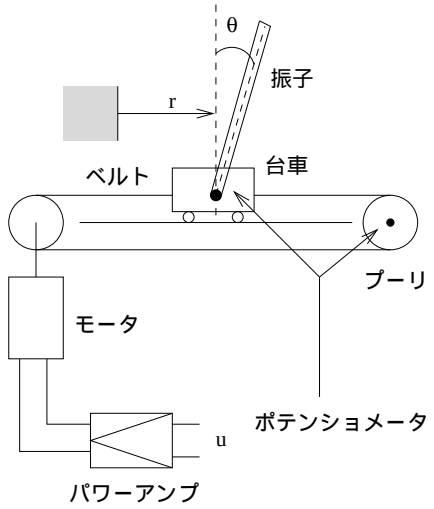


図 D.1: 倒立振子制御系の実験装置

台車についての運動方程式は

$$M\ddot{r} = au - F\dot{r} - H$$

である。ただし

M	[kg]	: 台車・プーリ・モータ系の等価質量
r	[m]	: 台車の変位
u	[V]	: パワーアンプへの入力電圧
a	[N/V]	: u から台車に働く力までのゲイン
F	[N/(m/s)]	: 台車・ベルト・プーリ・モータ系の等価摩擦係数
H	[N]	: 振子から台車に働く水平力

である。振子についての運動方程式は

$$\begin{aligned} J\ddot{\theta} &= Vl\sin\theta - Hl\cos\theta - c\dot{\theta} \\ & m\tfrac{d^2}{dt^2}(r + l\sin\theta) = H \\ & m\tfrac{d^2}{dt^2}(l\cos\theta) = V - mg \end{aligned}$$

である。ただし，

J	[kgm^2]	: 振子の重心回りの慣性モーメント
θ	[rad]	: 振子の鉛直線下からの角度
V	[N]	: 台車から受ける力の垂直方向成分
l	[m]	: 軸から振子の重心までの距離
H	[N]	: 台車から受ける力の水平方向成分
c	[kgm^2/s]	: 軸の摩擦係数
m	[kg]	: 振子の質量
g	[m/s^2]	: 重力加速度

である。状態変数として，台車の変位 r，振子の角度θ，台車の速度$\dot{r}$，振子の角速度$\dot{\theta}$をとり，状態ベクトルを

$$x = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r \\ \theta \\ \dot{r} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix}$$

とすると，倒立振子の状態方程式は次のように書ける。

$$\dot{x} = f(x,u) \stackrel{\triangle}{=} \begin{bmatrix} x_3 \\ x_4 \\ (1+\alpha\sin^2 x_2)^{-1} \times \{a_{32}\sin x_2 \cos x_2 + a_{33}x_3 \\ (1+\alpha\sin^2 x_2)^{-1} \times \{a_{42}\sin x_2 + a_{43}\cos x_2 x_3 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} +a_{34}\cos x_2 x_4 + a_{35}\sin x_2 x_4^2 + b_3 u\} \\ +a_{44}x_4 + a_{45}\sin x_2 \cos x_2 x_4^2 + b_4 \cos x_2 u\} \end{bmatrix}$$

ここで，

$$\alpha = m^2 l^2/\alpha_0$$

$$\begin{bmatrix} a_{32} & a_{33} & a_{34} & a_{35} & b_3 \\ a_{42} & a_{43} & a_{44} & a_{45} & b_4 \end{bmatrix}$$

$$= \frac{1}{\alpha_0} \begin{bmatrix} -(ml)^2 g & -F(J+ml^2) & & & \\ (M+m)mlg & Fml & & & \\ & cml & (J+ml^2)ml & (J+ml^2)a & \\ & -(M+m)c & -(ml)^2 & -(ml)a & \end{bmatrix}$$

ただし，$\alpha_0 = (M+m)J + Mml^2$である。

平衡点近傍で線形近似を行なって得た線形モデルに対して，オブザーバと状態フィードバック則を設計して，シミュレーションおよびリアルタイム制御 (実験) を行なう。

D.7.1　倒立振子の制御のシミュレーション

関数 Ode45HybridAuto() を使ってディジタル制御のシミュレーションを行なうプログラムを示す。まず，メイン関数でパラメータの設定，プラントとコントローラの状態の初期値の設定を行なって，シミュレーションのための関数を呼び出す。

```
Real a32, a33, a34, a35, a42, a43, a44, a45;
Real b3, b4, alpha;
Matrix C, F, Ah, Bh, Ch, Dh, Jh, Xo;

Func void main()
{
  Real t0, tf, dt;
  Matrix TC, XC, UC, x0;
  void para_init(), diff_eqs(), link_eqs();

  para_init();                  // パラメータの初期化
  t0 = 0.0; tf = 3.0; dt = 0.005;

  x0 = [0 30.0/180.0*PI 0 0]'; // 初期状態
  Xo = Z(2,1);                  // 推定値の初期値

  {TC, XC, UC} =
    Ode45HybridAuto(t0, tf, dt, x0, diff_eqs, link_eqs);
}
```

次に，状態方程式を記述する関数 diff_eqs() を示す。

```
Func void diff_eqs(DX, t, X, U)
  Matrix DX, X, U;
  Real t;
{
  Real x1, x2, x3, x4, u, c2, s2, dm;

  x1 = X(1); // 台車の位置
  x2 = X(2); // 振子の角度
  x3 = X(3); // 台車の速度 (推定値)
  x4 = X(4); // 振子の角速度 (推定値)
  u = U(1);  // 入力

  c2 = cos(x2); s2 = sin(x2);
  dm = (1 + alpha*s2^2);

  DX = Z(4,1);  // 状態方程式
  DX(1) = X(3);
  DX(2) = X(4);
  DX(3) = (a32*s2*c2 + a33*x3 + a34*c2*x4
           + a35*s2*x4^2 + b3*u)/dm;
  DX(4) = (a42*s2 + a43*c2*x3 + a44*x4
           + a45*s2*c2*x4^2 + b4*c2*u)/dm;
}
```

そして，コントローラを記述する関数 link_eqs() を示す。

```
Func void link_eqs(U, t, X)
 Matrix U, X;
 Real t;
{
 Matrix Y, Xh;

 Y  = C * X;                // 出力方程式
 Xh = Ch*Xo + Dh*Y;         // オブザーバの推定
 U  = - F*Xh;               // 状態フィードバック
 Xo = Ah*Xo + Bh*Y + Jh*U; // オブザーバの更新
}
```


D.7.2　倒立振子のリアルタイム制御

この章の前で説明したように，リアルタイム処理のプログラムを作成するには，3 つの関数を記述するだけで良い。メイン関数と画面表示関数はは例題で示した通りで良い。リアルタイム処理関数はシミュレーションで用いた link_eqs() を次のように変更するだけで良い。

```
Func void on_task()
{
  Matrix Y, Xh;

  Y  = sensor();             // センサから入力
  Xh = Ch*Xo + Dh*Y;         // オブザーバの推定
  U  = - F*Xh;               // 状態フィードバック
  actuator(U);               // アクチュエータへ出力
  Xo = Ah*Xo + Bh*Y + Jh*U; // オブザーバの更新
}
```

付 録E　エラーメッセージ

matc を使ったコンパイルや matx による関数の解釈 (MM ファイルの読み込み)，またインタプリタによるプログラムの実行やコンパイルの結果生成された MATX のプログラムを実行するとき，いくつか種類のエラーメッセージが表示される。これらのエラーメッセージについて説明する。

- matx によるプログラムの解釈，matc によるコンパイル段階では，広範囲にわたるエラーメッセージや警告メッセージを生成し，ソースファイルのエラーの発生箇所や問題を含む部分が簡単に分かるようになっている。
- C ファイルから実行ファイルを生成する段階では，C コンパイラがエラーメッセージを表示する。
- プログラム (関数) 実行の段階に発生したエラーメッセージは，すべてランタイムエラーメッセージで，ライブラリ中の各関数がそれらを表示する。
- エラーメッセージが画面に表示されると同時に，詳しいメッセージがログファイル `MaTX.log` に出力される。

E.1　プログラムの解釈，コンパイル時のエラーメッセージ

コンパイル時のエラーメッセージは，実際のプログラムのエラーを示す。matc によるコンパイル時のメッセージは，次の書式で表示される。


```
"filename", in function(), for "variable(class)", message
"filename", in function(), line number, "sourcecode", message
```

matx によるプログラム解釈時のメッセージは，次の書式で表示される。

```
"filename", at or near line number, for "variable(class)", message
"filename", at or near line number, "sourcecode", message
```

上に示した一般的な名前および値は，エラーメッセージが出力されるときは，これらの名前は適切な実際の名前あるいは値に置き換えられる。

コンパイラ matc は，エラーを検出したソースファイルに対しては，C ファイルを生成しない。また，インタプリタ matx は，エラーがあるソースファイルに対しては，内部中間コードを生成しない。このようなエラーが発生した場合，コンパイラやインタプリタは，エラーからの回復を図り，可能であればソースファイルの処理を続け，エラーメッセージを表示する。エラーの数が多すぎる場合や非常に重大なエラーがある場合は，コンパイラやインタプリタや処理を中止する。

エラーメッセージの行番号については注意が必要である。コンパイラやインタプリタは検出した通りにメッセージを表示するだけである。MATX ではソースファイルの文の配置については強制の制限がないため，実際にエラーの原因は示された行番号より前にあることがある。

E.1.1　コンパイル時のメッセージの説明

Attempt to evaluate non-variable
関数 eval() に不適切な引数が渡された。

Arguments must be an integer or an index
ブロック行列の指定に整数，指数，以外のものが使われた。

Assignment to non-variable
定数への代入が行われた。

Builtin function is redefined
組み込み関数が再定義された。

Can't be transformed to a string
文字列へ変換できないものを文字列に変換しようとした。

Can't be transformed to an integer
整数に変換できないものを整数に変換しようとした。

Can't be transformed to a real number
実数に変換できないものを実数に変換しようとした。

Can't be transformed to a complex number
複素数に変換できないものを複素数に変換しようとした。

Can't be transformed to a polynomial
多項式に変換できないものを多項式に変換使用とした。

Can't be transformed to a complex polynomial
複素多項式に変換できないものを複素多項式に変換使用とした。

Can't be transformed to a rational
有理関数に変換できないものを有理関数に変換しようとした。

Can't be transformed to a complex rational
複素有理関数に変換できないものを複素有理関数に変換しようとした。

Can't be transformed to a matrix
行列に変換できないものを行列に変換しようとした。

Can't be transformed to a complex matrix
複素行列に変換できないものを複素行列に変換しようとした。

Can't be transformed to a polynomial matrix
多項式行列に変換できないものを多項式行列に変換しようとした。

Can't be transformed to a rational matrix
有理関数行列に変換できないものを有理関数行列に変換しようとした。

Can't be transformed to an array
配列に変換できないものを配列に変換しようとした。

Can't be transformed to a complex array
複素配列に変換できないものを複素配列に変換しようとした。

Can't be transformed to a polynomial array
複素配列に変換できないものを複素配列に変換しようとした。

Can't be transformed to a rational array
有理関数配列に変換できないものを有理関数配列に変換しようとした。

Can't be transformed to an index
指数に変換できないものを指数に変換しようとした。

Can't be transformed to a list
リストに変換できないものをリストに変換しようとした。

Can't compare these variables
定義されていない型による比較が行われた。

Can't open startup file
　スタートアップファイルがみつからない。

Confliction between classes
　定義されていない 2 項演算が行われた。

Confliction between left and right
　異なる型の代入が行われた。

Double dots is not defined
　ダブルドット (..) が使用された。

Element must be a real polynomial
　複素多項式の定義に複素多項式が成分として使われた。

Element must be a real rational
　複素有理関数の定義に複素有理関数が成分として使われた。

Filename must be a string
　行列データを読み込むファイルが指定されなかった。

Incompatible types in return
　関数が宣言と異なる型の値を返している。

Incorrect range
　行列のブロック成分の指定，文字列の範囲の指定に，誤りが検出された。

Index must be an integer
　行列の成分の代入において整数でない指数が使われた。

Input line started with #
　不適当なプリプロセッサ命令が使われた。

label must be constant
　switch 文のラベルに変数が使用された。

label must be an integer
　switch 文のラベルに整数でないものが使用された。

Missing quote
　文字列の定義中に改行が行われた。

Not a complex matrix
　実行列の成分に複素数が代入された。

Not a number
　インクリメント演算やデクリメント演算に整数と実数以外のものが使われた。

Not a polynomial nor rational matrix
　多項式行列，有理関数行列以外の行列の成分に多項式や有理関数が代入された。

Not appropriate arguments for "save"
　データを保存するファイルが指定されなかった。

Not appropriate arguments for "print"
　データを保存するファイルが指定されなかった。

Not appropriate arguments for "read"
　データを読み込むファイルが指定されなかった。

Not a variable
　インクリメント演算やデクリメント演算に定数が使われた。

Not suitable arguments class in exit()
　関数 exit() に整数以外のものが渡された。

Not suitable arguments class in pause()
関数 pause() に整数以外のものが渡された。

Not suitable declaration
関数の宣言が適切でない。

Number cann't be read from a file
行列以外のデータを"<<"でファイルから読み込もうとした。

Number cann't be written to a file
行列以外のデータを">>"でファイルに保存しようとした。

Number must be zero
行列の正定性，負定性を調べるとき，ゼロ以外の値が使われた。

Only number can be used
定義されていない否定演算が行われた。

Redeclaration of function
関数の再宣言が前と同一でない。

Redeclaration of function (Argument)
可変長引数の関数の再宣言が前と同一でない。

Right-hand side must be a list
部分リストへの代入にリスト以外のものが使われた。

Right-hand side must be a string
部分文字列への代入に文字列以外のものが使われた。

Salars and matrices are used in a matrix
行列とスカラが同時に，行列の定義内で使われた。

String and values are used in a matrix
文字列とそれ以外のものが同時に，行列の定義内で使われた。

switch condition must be an integer
switch 文の条件に整数でないものが使用された。

syntax error
文法的な間違いが検出されました。

Too few arguments for "print"
データを保存する print コマンドの引数の数が足りなかった。

Too few arguments for "save"
save コマンドの引数の数が足りなかった。

Undefined Character 'chracter'
不適切な文字が使用されました。

Undefined variable
宣言されていない変数が使われました。

Used outside loop
break や continue がループの外で使われた。

Variable may be used before set
初期化されていない変数が参照されました。

Void function returns value
void 関数が値を返している。

Void is the class of functions
void 型で変数が宣言された。

Zero division
ゼロ割が検出された。

E.2　実行時のエラーメッセージ

実行時のエラーメッセージは，次の 3 個に分類される。

1. インタプリタ matx が検出してエラーを知らせるエラーメッセージ。
2. MATX のクラスライブラリの関数が表示するエラーメッセージ。エラーが発生すると，関数は標準エラー出力とエラーログファイル `MaTX.log` にメッセージを出力する。
3. C のランタイムライブラリの中の数値演算ルーチンが表示するエラーメッセージ。エラーが発生すると，数値演算ルーチンのいくつかは標準エラー出力にメッセージを出力する。

E.2.1　matx の実行時のエラーメッセージ

matx によるプログラム実行時のメッセージは，次の書式で表示される。

```
"file", at or near line number, for "variable(class)", message
"file", at or near line number, "sourcecode", message
```

上に示した一般的な名前および値は，エラーメッセージが表示されるとき，これらの名前は適切な実際の名前あるいは値に置き換えられる。

E.2.2　matx の実行時のメッセージの説明

Call nested too deeply
関数の呼び出しが深すぎた。

Can't find the function
宣言された関数の定義が見つからなかった。

Can't open file
fprintf() によるファイルのオープンが出来ない。

Can't open help file
ヘルプファイルをオープンできない。

Can't open temporary file for help
ヘルプのための一時ファイルをオープンできない。

Confliction of the argument class
関数の引数の型が定義と異なる。

Data is broken or too few
<-で読み込んだデータが壊れている。

Duplicate switch label
１つの switch 文に同じラベルが 2 度使われた。

'extern' is used in argument definition
extern 宣言が関数の引数の宣言で使われた。

Function cann't be edited
edit コマンドで関数を編集しようとした。

Function cann't be read
read コマンドで関数を読み込もうとした。

Function returns no value
　関数が値を返していない。

Incorrect number of arguments
　関数の引数の数が定義と異なる。

Name too long
　変数名前の長さが長すぎる。

No help file is available
　ヘルプファイルが見つからない。

switch too deep
　switch 文の入れ子が深すぎる。

Switch label too much
　switch 文のラベルが多すぎる。

Syntax error was found in string evaluation
　関数 eval() による文字列の評価において文法エラーが検出された。

E.2.3　クラスライブラリのエラーメッセージ

クラスライブラリの実行時のメッセージは，次の書式で表示される。

```
"sourcecode" : message in func1()
Error was found in func1() from func2() from func3()
```

上に示した一般的な名前および値は，エラーメッセージが出力されるとき，これらの名前は適切な実際の名前あるいは値に置き換えられる。

- エラーの発生に関係するソースコードを推定して，できるだけオリジナルに近いかたち (sourcecode) で表示する。したがって，必ずしも元のソースコードと一致するとは限らない。
- 行列演算のエラーに関して，関係する行列の名前とその行列の大きさを表示する。ただし，名前が分からない場合，行列の大きさだけを表示する。
- 多項式演算のエラーに関して，関係する多項式の名前とその多項式の次数を表示する。ただし，名前が分からない場合は，多項式の次数だけを表示する。
- 有理関数演算のエラーに関して，関係する有理関数の名前とその有理関数の分子・分母の次数を表示する。ただし，名前が分からない場合，有理関数の分子・分母の次数だけを表示する。
- リスト演算のエラーに関して，関係するリストの名前とそのリストの成分の数を表示する。ただし，名前が分からない場合，リストの成分の数だけを表示する。
- 関数名 func1 は，行列演算では Mat***()，多項式演算では Poly***()，有理関数演算では Rat***()，リスト演算では List***() となる。
- 関数が呼び出された順番を同時に表示する。上の書式の場合，func3() から func2() が呼び出され，func2() から func1() が呼び出され，func1() の中でエラーが検出されたことが分かる。

索 引

!, 33
　OS のコマンド実行, 42
　配列の比較, 180
!=, 269
　行列の比較, 177
　配列の比較, 179
#, 267
#define, 56
#else, 56
#endif, 56
#if, 56
#ifdef, 56
#ifndef, 56
#include, 55
&&, 271
　配列の比較, 180
’, 266, 267
*, 261
　複素行列, 153
　複素数, 125
　複素多項式, 136
　複素多項式行列, 155
　複素有理多項式, 141
　複素有理多項式行列, 161
*/, 52
+, 259
++, 268
-, 28, 30, 260, 268
--, 30, 268
->, 63
-c, 32
-D, 30, 32
-e, 28, 30
-mm, 32
-Nc, 32
-nocpp, 29, 30, 32, 53
-nofep, 30
-nohist, 30
-nolog, 30
-nomm, 31, 32
-Np, 30, 32
-o, 32
-static, 32
-v, 32
.!, 180
.!=, 177

.&&, 180
.+, 181
.-, 181
./, 263
.<, 177
.<=, 177
.==, 177
.>, 177
.>=, 177
.^, 265
.||, 180
.~, 263
.fwmrc, 93
.matx_history, 33
.matxout, 58
.matxrc, 57
.twmrc, 93
/, 263
/*, 52
:, 152, 167
　複素数, 125
　複素有理多項式, 141
<, 269
　行列の比較, 177
　配列の比較, 179
<-, 63
<=, 269
　行列の比較, 177
　配列の比較, 179
==, 269
　行列の比較, 177
　配列の比較, 179
>, 269
　行列の比較, 177
　配列の比較, 179
>=, 269
　行列の比較, 177
　配列の比較, 179
[, 148
[], 148
||, 271
], 148
^, 265
_matxout, 58
_matxrc, 57
<<, 62
>>, 62
||
　配列の比較, 180
~, 263
0-1 配列, 168
0×0 行列, 148
1-ノルム, 182
10 進数, 117
16 進数, 117
1 で満たされた行列, 152
8 進数, 117

A/D 変換器, 281
abs(), 133
　行列の—, 186

実数の—, 120
配列の—, 205
複素数の—, 126
access(), 68
acos()
実数の—, 120
配列の—, 205
複素数の—, 126
acosh()
実数の—, 120
配列の—, 205
複素数の—, 126
actuator(), 281, 284
actuator_init(), 283, 284
actuator_stop(), 283, 284
all(), 177
配列の—, 200
all_col(), 177
配列の—, 200
all_row(), 177
配列の—, 200
ans, 51
any(), 177
配列の—, 200
any_col(), 177
配列の—, 200
any_row(), 177
配列の—, 200
appendlist(), 209, 210
arg()
配列の—, 205
複素数の—, 126
Array(), 47, 49, 147
ASCII コード, 132
asin()
実数の—, 120
配列の—, 205
複素数の—, 126
asinh()
実数の—, 120
配列の—, 205
複素数の—, 126
atan()
実数の—, 120
配列の—, 205
複素数の—, 126
atan2()
実数の—, 120
atanh()
実数の—, 120
配列の—, 205
複素数の—, 126

bell, 43
Big Endian, 65
bit_and(), 119
bit_comp(), 119
bit_lshift(), 119
bit_or(), 119
bit_rshift(), 119
bit_xor(), 119

Borland C, 278
break, 115, 116

case, 115
ceil()
行列の—, 187
実数の—, 120
多項式の—, 139
配列の—, 205
複素数の—, 126
有理多項式の—, 145
char, 63
chdir, 69
clear
画面のクリア, 43
変数の消去, 41
clock(), 44
CoArray, 147
CoArray(), 49
Cols()
行列の—, 182
配列の—, 200
CoMatrix, 147
CoMatrix(), 49
Complex(), 48
conj()
行列の—, 187
実数の—, 120
整数の—, 119
多項式の—, 139
配列の—, 205
複素数の—, 126
有理多項式の—, 145
conjtrans()
行列の—, 187
実数の—, 120
整数の—, 119
多項式の—, 139
配列の—, 205
複素数の—, 126
有理多項式の—, 145
continue, 116
CoPolynomial, 135
CoPolynomial(), 48
CoRational, 141
CoRational(), 48
cos()
実数の—, 120
配列の—, 205
複素数の—, 126
cosh()
実数の—, 120
配列の—, 205
複素数の—, 126
cpp, 277
cumprod()
行列の—, 184
配列の—, 201
cumprod_col()
行列の—, 185
配列の—, 202

cumprod_row()
　　行列の—, 185
　　配列の—, 202
cumsum()
　　行列の—, 184
　　配列の—, 201
cumsum_col()
　　行列の—, 185
　　配列の—, 202
cumsum_row()
　　行列の—, 185
　　配列の—, 202
curses, 18
C 言語, 19, 273
C プリプロセッサ, 29

D/A 変換器, 281
De()
　　有理多項式配列の—, 166
　　有理多項式の—, 142
default, 115
degree(), 139
derivative()
　　多項式行列の—, 159
　　多項式の—, 138
　　有理多項式行列の—, 165
　　有理多項式の—, 144
det(), 182
　　多項式行列の—, 184
　　複素行列の—, 184
　　有理多項式行列の—, 184
diag2vec()
　　行列の—, 187
　　配列の—, 203
diff_eqs, 297
DISPLAY, 77, 90
DJGPP, 276
do-while, 115
double, 63

eig(), 197
eigval(), 186
eigvec(), 186, 212
EISPACK, 21, 182
else, 113
endian, 63
EPS, 117
EPS フォーマット, 88
error(), 45
eval(), 219
　　多項式行列の—, 156
　　多項式の—, 137
　　文字列の—, 130
　　有理多項式行列の—, 162
　　有理多項式の—, 143
exist(), 41
exit, 46
exp()
　　行列の—, 186
　　実数の—, 120
　　配列の—, 205
　　複素数の—, 126

extern, 98

fact()
　　実数の—, 120
　　整数の—, 119
fclose(), 66, 119
feof(), 67
fft(), 205
FIG コード, 88, 91
find(), 168, 201
finite()
　　行列の—, 182
　　実数の—, 120
　　配列の—, 200
　　複素数の—, 126
fix()
　　行列の—, 187
　　実数の—, 120
　　多項式の—, 139
　　配列の—, 205
　　複素数の—, 126
　　有理多項式の—, 145
fliplr()
　　行列の—, 187
　　配列の—, 203
flipud()
　　行列の—, 187
　　配列の—, 203
float, 63
floor()
　　行列の—, 187
　　実数の—, 120
　　多項式の—, 139
　　配列の—, 205
　　複素数の—, 126
　　有理多項式の—, 145
fopen(), 66, 119, 133, 210
for, 114
fprintf(), 66, 67
　　実数の—, 122
　　整数の—, 119
　　文字列の—, 133
fread(), 63
frobnorm(), 214
　　行列の—, 182
　　多項式行列の—, 184
　　配列の—, 201
　　有理多項式行列の—, 184
fscanf(), 66, 67, 210
　　実数の—, 122
　　整数の—, 119
　　文字列の—, 133
Func, 105
fvwm, 93
fwrite(), 63

gcls(), 90
getch(), 119
getenv(), 42
gettimer(), 44
gnuplot, 18, 77, 90
gplot(), 77

gplot_clear(), 85
gplot_figcode(), 88
gplot_grid(), 86
gplot_hold(), 88
gplot_key(), 86
gplot_loglog(), 81
gplot_options(), 86
gplot_psout(), 88
gplot_quit(), 85
gplot_reset(), 85
gplot_semilogx(), 81
gplot_semilogy(), 81
gplot_text(), 86
gplot_title(), 86
gplot_xlabel(), 86
gplot_ylabel(), 86
greplot(), 80
greplot_loglog(), 84
greplot_semilogx(), 84
greplot_semilogy(), 84

help, 45
hess(), 198
higher()
    多項式行列の—, 159
    多項式の—, 138
    有理多項式行列の—, 165
    有理多項式の—, 145
HOME, 57, 58
hterm, 90

I(), 151
if, 113
ifft(), 205
Im(), 52
    複素行列, 154
    複素数の—, 125
    複素多項式行列の—, 156
    複素多項式の—, 136
    複素有理多項式行列の—, 161
    有理多項式の—, 142
Index(), 49, 147
Inf, 117
infnorm(), 182
Inport(), 291
Inportb(), 291
int, 63
int2str(), 132
int2str(), 119, 133
Integer(), 48
integral()
    多項式行列の—, 159
    多項式の—, 138
inv()
    行列の—, 187
    実数の—, 120
    整数の—, 119
    多項式の—, 139
    配列の—, 205
    複素数の—, 126
    有理多項式の—, 145

iscomplex()
    行列の—, 182
    多項式の—, 139
    配列の—, 200
    有理多項式の—, 145
isnan()
    行列の—, 182
    実数の—, 120
    配列の—, 200
    複素数の—, 126
isreal(), 212
    行列の—, 182
    多項式の—, 139
    配列の—, 200
    有理多項式の—, 145
isscalar(), 182

kbhit(), 119
kermit, 90
kernel(), 186

LANG, 45
length(), 100, 210
    行列の—, 182
    配列の—, 200
    文字列の—, 133
libs.rsp, 278
link_eqs(), 297
LINPACK, 21
linspace()
    配列の—, 203
list_last, 37
ListInit(), 36
Little Endian, 65
load, 28, 61, 65
log()
    行列の—, 186
    実数の—, 120
    配列の—, 205
    複素数の—, 126
log10()
    実数の—, 120
    配列の—, 205
    複素数の—, 126
logspace(), 219
    配列の—, 203
lower()
    多項式行列の—, 159
    多項式の—, 138
    有理多項式行列の—, 165
    有理多項式の—, 145
lu(), 198
LU 分解, 182, 198

m-file, 23
machine_endian(), 65
main(), 30, 36, 97, 103
Makefile, 276, 278
makelist(), 208
mat, 62
matc, 20, 30
mated, 20, 34, 71, 74

MatInit(), 36
matlab, 18
mat_last, 37
matp, 35
Matrix(), 132
Matrix(), 48, 135, 147
matx, 20, 27
MaTX-Lib, 20
MaTX.log, 299, 307
MaTX.mm, 65
matx.rsp, 278
MATXCPP, 53
MATXGNUPLOT, 78
MATXINPUTS, 57, 58, 61, 105, 109
MaTXOUT.mm, 58
MaTXRC.mm, 57, 61
MAT データフォーマット, 35, 62, 74, 239
max(), 182
  行列の—, 187
  実数の—, 120
  整数の—, 119
  配列の—, 201, 203
  複素数の—, 126
maximum(), 182
maxsing(), 182
mean()
  行列の—, 184, 185
  配列の—, 201
mean_col()
  行列の—, 185
  配列の—, 202
mean_row()
  行列の—, 185
  配列の—, 202
menu(), 42
mgplot(), 77
mgplot_clear(), 85
mgplot_figcode(), 88
mgplot_grid(), 86
mgplot_hold(), 88
mgplot_key(), 86
mgplot_loglog(), 81
mgplot_options(), 86
mgplot_psout(), 88
mgplot_quit(), 85
mgplot_reset(), 85
mgplot_semilogx(), 81
mgplot_semilogy(), 81
mgplot_subplot(), 84
mgplot_text(), 86
mgplot_title(), 86
mgplot_xlabel(), 86
mgplot_ylabel(), 86
mgreplot(), 80
mgreplot_loglog(), 84
mgreplot_semilogx(), 84
mgreplot_semilogy(), 84
min(), 182
  行列の—, 187

  実数の—, 120
  整数の—, 119
  配列の—, 201, 203
  複素数の—, 126
minimum(), 182
minsing(), 182
mm, 27, 61, 65
mm ファイル, 19, 23, 28, 61, 65, 109
MS-DOS, 61
mx, 63
MX データフォーマット, 63, 240

NaN, 117
norm(), 182
Nu()
  有理多項式配列の—, 166
  有理多項式の—, 142

Ode(), 190
Ode45(), 193
Ode45Auto(), 194, 221, 225, 226
Ode45Hybrid(), 195
Ode45HybridAuto(), 196, 221, 296
OdeAuto(), 191
OdeHybrid(), 192
OdeHybridAuto(), 192
OdeStop(), 197
OdeXY(), 197
on_task(), 298
ONE(), 152
OS, 42
Outport(), 291
Outportb(), 291

p-ノルム, 182
PAGER, 45
pause, 46
pclose(), 67
PI, 117
PID, 117
PoArray, 147
PoArray(), 49
poles(), 145
PolyInit(), 36
poly_last, 37
Polynomial(), 48, 135
PoMatrix, 147
PoMatrix(), 49
popen(), 67
Postscript, 79
pow()
  行列の—, 187
  実数の—, 120
  整数の—, 119
  多項式の—, 139
  配列の—, 205
  複素数の—, 126
  有理多項式の—, 145
print, 39, 62, 63
printf(), 39

実数の—, 122
整数の—, 119
文字列の—, 133
prod()
行列の—, 184, 185
配列の—, 201
prod_col()
行列の—, 185
配列の—, 202
prod_row()
行列の—, 185
配列の—, 202
pseudoinv(), 186
putenv(), 42

qr(), 198
qr_p(), 198
QR 分解, 182, 198
QR 分解 (置換付), 198
quit, 46
qz(), 198
QZ 分解, 182, 198

RaArray, 147
RaArray(), 49
RaMatrix, 147
RaMatrix(), 49
rand()
行列の—, 190
実数の—, 120
配列の—, 203
randn()
行列の—, 190
実数の—, 120
配列の—, 203
rank(), 182
rat_last, 37
RatInit(), 36
Rational(), 48
Re(), 52, 212
複素行列, 154
複素数の—, 125
複素多項式行列の—, 156
複素多項式の—, 136
複素有理多項式行列の—, 161
有理多項式の—, 142
read, 39, 62, 63
Real(), 48, 120
rem()
実数の—, 120
整数の—, 119
配列の—, 203
require, 40, 104, 109
reshape(), 172
行列の—, 187
return, 105, 110
RKF45, 182, 193
rkf45(), 193
rngkut4(), 190, 223
roots(), 139
rotateDown()

行列の—, 187
配列の—, 203
rotateLeft()
行列の—, 187
配列の—, 203
rotateRight()
行列の—, 187
配列の—, 203
rotateUp()
行列の—, 187
配列の—, 203
round()
行列の—, 187
多項式の—, 139
複素数の—, 126
有理多項式の—, 145
round()
実数の—, 120
配列の—, 205
round2z()
行列の—, 187
実数の—, 120
整数の—, 119
多項式の—, 139
複素数の—, 126
有理多項式の—, 145
round2z()
配列の—, 205
Rows()
行列の—, 182
配列の—, 200
rtIsRunning(), 291
rtIsTesting(), 290, 291
rtIsTimeOut(), 282, 291
rtmatc, 277
rtmatcc, 277
rtmatccc, 277
RTMATX, 273
rtSetBreak(), 280, 291
rtSetClock(), 275, 280, 291
rtSetTask(), 280, 291
rtStart(), 280, 290, 291
rtStartRehearsal(), 290, 291
rtStop(), 280, 291
rtStop, 283
rtStopRehearsal(), 290, 291

save, 65
scanf(), 39
実数の—, 122
整数の—, 119
文字列の—, 133
schur(), 198
sensor(), 281, 284
sensor_init(), 283, 284
settimer(), 44
sgn()
実数の—, 120
配列の—, 205
複素数の—, 126
shiftDown()

行列の—, 187
配列の—, 203
shiftLeft()
行列の—, 187
配列の—, 203
shiftRight()
行列の—, 187
配列の—, 203
shiftUp()
行列の—, 187
配列の—, 203
short, 63
sin()
実数の—, 120
配列の—, 205
複素数の—, 126
singed char, 63
singed int, 63
singed short, 63
singleftvec(), 186
singrightvec(), 186
singval(), 186
sinh()
実数の—, 120
配列の—, 205
複素数の—, 126
size()
行列の—, 197
配列の—, 203
sort()
行列の—, 187
配列の—, 203
sprintf(), 132
実数の—, 122
整数の—, 119
文字列の—, 133
sqrt()
行列の—, 186
実数の—, 120
配列の—, 205
複素数の—, 126
sscanf()
文字列の—, 133
static, 99
std()
行列の—, 184, 185
配列の—, 201
std_col()
行列の—, 185
配列の—, 202
std_row()
行列の—, 185
配列の—, 202
strchr(), 130
String(), 132
String(), 47
sum()
行列の—, 184, 185
配列の—, 201
sum_col()

行列の—, 185
配列の—, 202
sum_row()
行列の—, 185
配列の—, 202
svd(), 198
switch, 115
system(), 42

tan()
実数の—, 120
配列の—, 205
複素数の—, 126
tanh()
実数の—, 120
配列の—, 205
複素数の—, 126
Tektronix, 90
TEX, 91
trace(), 182
多項式行列の—, 184
複素行列の—, 184
有理多項式行列の—, 184
trans()
行列の—, 187
実数の—, 120
整数の—, 119
多項式の—, 139
配列の—, 205
複素数の—, 126
有理多項式の—, 145
twm, 93

UNDEF, 208
UNIX, 27
unsinged char, 63
unsinged int, 63
unsinged short, 63

vec2diag()
行列の—, 187
配列の—, 203
VecChop(), 230
VecCont(), 230
vectorprod(), 186
void, 103, 105, 110
vt98, 90

warning(), 44
what, 40
which, 40
while, 114
who, 40
whos, 40
Windows95/NT, 88

X-Window System, 90
xplot, 18, 90
xplot_grid(), 91
xplot_semilogx(), 93
xplot_title(), 91
xplot_xlabel(), 91
xplot_ylabel(), 91

X ウィンドウ, 93

yacc, 19

Z(), 151
zeros(), 145

アクチュエータ, 274, 281
アセンブラ, 273
値渡し, 110
暗黙の型変換, 100

一様乱数行列, 190
一般固有値, 186
一般固有値問題, 197
一般固有ベクトル, 186
インクリメント, 268
インターバルタイマ, 275
インタプリタ, 19
インタラクティブ・モード, 28

ウィンドウ・マネ− ジャ− , 93

エディタ, 23
エラー停止, 45
エラーメッセージ, 299
演算, 257
エンディアン, 63

大きさの自動拡大, 170
遅れ, 197
オブザーバ, 293

カーネル, 186
階乗, 119, 120
外積, 186
カウント・クロック, 275
片対数グラフ, 81, 93
型変換関数, 132
可変長引数, 107
画面クリア, 43
カレントウィンドウ, 78
環境変数, 53, 57, 58, 61, 77, 90
関係演算, 269
関数, 103
関数の参照, 111
関数の引数, 109
関数のポインタ, 111

キーバインディング, 33, 74
擬似逆行列, 186
逆, 263
逆行列, 187
逆高速フーリエ変換, 205
逆フーリエ変換, 205
行数, 182
行ベクトル, 149
共役行列, 187
共役転置, 267
共役転置行列, 187
行列, 147
行列エディタ, 18, 34, 39, 71
行列関数, 182
行列式, 182

行列の成分, 166
行列の配列, 175
局所変数, 37, 97, 103
虚数単位, 126

クイットファイル, 58
クラス変換, 47, 258
グラフィックス, 77

警告, 44
係数のシフト
　多項式行列の—, 159
　多項式の—, 138
　有理多項式行列の—, 165
　有理多項式の—, 145
結合規則, 257

広域変数, 36
合計, 184, 185, 201, 202
高速フーリエ変換, 205
コマンドライン引数, 111
コマンドライン編集, 33
コマンドライン履歴, 33
コメント, 52
固有値, 182, 186
固有値問題, 197
固有ベクトル, 186
コンパイラ, 19
コンパイル, 278

差, 260
最小値, 182
最小特異値, 182
最大値, 182
最大特異値, 182
最大ノルム, 182
参照渡し, 110
サンプリング時間, 274, 280

シェル, 42
シェルスクリプト, 29
式行列, 47, 168
指数, 147, 167, 173
指数行列, 186
実業列, 182
実行ファイル, 30
実数, 117
自動きざみ, 191
シフト, 187
シミュレーション, 220, 273
終了, 46
シュール分解, 198
商, 263
状態フィードバック, 220, 223, 293
常微分方程式, 182

数式処理, 17
数値計算, 17
スカラ, 182
スカラ倍, 261
スタートアップファイル, 57

制御系設計 CAD, 273
正規乱数行列, 190

整数, 117
整数定数, 117
静的変数, 99
成分の削除, 172
成分の代入, 170
成分の取り出し, 167
積, 261
積分
    多項式行列の—, 159
    多項式の—, 138
線形空間ベクトル, 203
線形プロット, 78, 91
宣言, 97, 103
センサ, 274, 281
全成分の積, 184, 185, 201, 202

ソート, 187

大域変数, 97
対角行列, 153, 187
対数行列, 186
対数空間ベクトル, 203
代入式, 50
タイムアウト, 275
多項式, 135
多項式行列, 154
多項式の係数, 136
多重処理, 274
単位行列, 151

通用範囲, 98
定義, 105
停止, 46
ディジタル制御, 274
データ型, 241
データの精度, 241
デクリメント, 268
デフォルト mm ファイルディレクトリ, 61, 105, 109
伝達関数, 216
転置, 266
転置行列, 187

等差数列配列, 152
同定, 273
動的フィードバック, 225
倒立振子, 293
登録関数, 40
登録変数, 40
特異値, 186
特異値分解, 198
トレース, 182

ナイキスト線図, 218
長さ, 182

ノルム, 182

配列, 147
配列演算, 219
配列演算子, 147

ピース行列, 167, 171, 175

    I(), 151
    ONE(), 152
    Z(), 151
微分方程式, 190
左特異ベクトル, 186
微分
    多項式行列の—, 159
    多項式の—, 138
    有理多項式行列の—, 165
    有理多項式の—, 144
評価
    多項式行列の—, 156
    多項式の—, 137
    文字列の—, 130
    有理多項式行列の—, 162
    有理多項式の—, 143
標準偏差, 184, 185, 201, 202

ファイルディスクリプタ, 66, 119, 133, 210
ファイルのアクセス権, 68
ファディーブ, 216
フーリエ変換, 205
複数値関数, 106
複素オペレータ, 125
複素行列, 153, 182
複素数, 125
複素多項式, 136
複素値, 51
符合関数, 120
符合反転, 268

部分行列, 147, 167
プリプロセッサ, 53
プロセスディスクリプタ, 67
ブロック成分, 167
ブロック成分の代入, 171
ブロック成分の取り出し, 167
ブロック対角行列, 153
プロテクトモード, 276
プロテクトモード, 276
フロベニウスノルム, 182
プロンプト, 28
分子多項式, 142
分子配列, 166
分母多項式, 142
分母配列, 166

平均値, 184, 185, 201, 202
平方根行列, 186
ベクトル積, 186
ヘッセンベルグ分解, 198
ベル, 43
ヘルプ, 45
変数, 97
変数消去, 41
変数の存在, 41

ボード線図, 218
ポストスクリプト, 88

マシーン, 240
丸め関数, 120

右特異ベクトル, 186

無駄時間, 197

メニュー, 42
メモリ管理, 290
メモリ管理リスト, 290

目標値, 274
文字の位置, 130
文字列, 129
モデリング, 273

ユークリッド ノルム, 182
優先度, 257
有理多項式, 141
有理多項式行列, 160

ランク, 182

リアルタイム, 273
リアルタイム MATX, 273
リアルタイム制御, 293
リアルモード, 276
リカッティ, 212, 214
リスト, 106, 207
リストの合成, 209
リストの取り出し, 209
リダイレクト
-->, 63
<-, 63
<<, 62
>>, 62

両対数グラフ, 81
リンク, 278

累乗, 187, 265
累積積, 184, 185, 201, 202
累積和, 184, 185, 201, 202
ループ, 114
ルンゲ・クッタ, 182, 190

零行列, 151
零空間, 186
列数, 182
列ベクトル, 150

ローテート, 187
論理演算, 271

和, 259
割り込み, 273
割り込みキー, 280

＜著者略歴＞

古賀 雅伸（こが まさのぶ）

1988 年　東京工業大学工学部制御工学科卒業
1993 年　博士 (工学)
1993 年　東京工業大学工学部助手
現　在　東京工業大学大学院情報理工学研究科助手

MATX リファレンスマニュアル

1994 年 9 月 26 日　初 版 発 行
1995 年 8 月 10 日　2 版 発 行
1996 年 4 月 15 日　3 版 発 行
1997 年 4 月 21 日　4 版 発 行
1998 年 4 月 12 日　5 版 発 行

執筆者　古賀 雅伸
発行者　古賀 雅伸
印刷者　東京工業大学
製本者
発行所　東京工業大学
〒 152-8552
東京都目黒区大岡山 2-12-1
電話 (03)5734-2328

本書の内容を無断で複写生成することは，著作者の権利を侵害することがありますので，その場合にはあらかじめ著作者あて許諾をお求め下さい。