

2019 年度 後期 コンピュータ 1

更新日時 2019-10-08 13:13:22 担当 和地 輝仁

目 次

1 シラバス抜粋	1
2 授業のノート (Small Basic 編)	2
§1 表計算ソフトウェアによる統計処理	2
§2 最初の Small Basic プログラム	4
§3 変数	7
§4 条件分岐	9
§5 For 文による繰り返し	12
§6 While 文による繰り返し	14
§7 サブルーチン	18
§8 いろいろな関数	20
§9 数値計算	22
§10 配列	23
§11 グラフィックス	23
§12 練習問題	23
3 授業のノート (T_EX 編)	26
§1 文書組版システム T _E X の導入	26
§2 T _E X の使用方法	26
§3 文書の構造	29
§4 箇条書き	32
§5 表組み	34
§6 数式	35
§7 相互参照・目次 (・索引)	42
§8 画像	44

§9 マクロ	46
§10 練習問題	48
§11 演習問題	50
§12 付録: 主なエラーメッセージ	53

1 シラバス抜粋

授業の目標 コンピュータを用いて文書を作成したり、資料の整理を行うために、いくつかのアプリケーションソフトを利用できるようになる。また、効率を上げるためにプログラムを利用したり、論理構造を重視した文書の作成ができるようになる。

到達目標

1. 基本的なプログラムの作成方法を学び、作業の効率化を図れる。
2. 文書組版システムを用いて、論理構造をもつ文書の作成ができる。
3. コンピュータを用いた学習教材の作成ができる。

授業計画 順序を交換する場合もあるので注意すること。

- | | |
|---------------------|----------------------------------|
| 1. 表計算ソフトウェアによる統計処理 | 8. 文書組版システム T _E X の導入 |
| 2. プログラム | と使用方法 |
| 3. 変数・演算 | 9. 文書の構造 |
| 4. 関数とプロシージャ | 10. 表・箇条書き |
| 5. 制御構造 1 | 11. 数式 |
| 6. 制御構造 2 | 12. 相互参照・目次・索引 |
| 7. 制御構造 3 | 13. 画像 |
| | 14. マクロ |
| | 15. 期末試験 |

成績評価 期末試験では、プログラムの作成と、文書組版システムを用いた文書の作成ができるかどうかを評価する (50%)。各回の授業では演習問題を出題し、その提出状況と内容も評価する (50%)。原則として全ての時間の出席を求めるが、やむを得ない理由で欠席をする (した) 場合はできるだけ速やかに申し出て、指示を受けること。

2 授業のノート (Small Basic 編)

§1 表計算ソフトウェアによる統計処理

(1.1) **課題 01 – 課題提出の練習** 以下のことを実行して下さい。

- (1) 小手調べに「メモ帳」を起動して、適当な俳句を詠んで入力する。
- (2) 「0000 和地-01」のような「学生番号名前-課題番号」というファイル名¹で保存する。数字やマイナス記号は (日本語入力モードで入力するのではなく) 半角であり、また、フォントのせいで空きがあるように見えるが、ファイル名にはスペースは含めないこと。
- (3) 「提出用ページ」² をウェブブラウザで開き、「課題提出」の所に配布したパスワードを入力し、提出するファイルを選択する。そして「提出」ボタンを押すと提出が完了する。
- (4) 「提出用ページ」の「提出状況閲覧」の所に、パスワードと学生番号を入力し、「閲覧」ボタンを押すとこれまでのすべての提出状況が見られる。

また、提出した課題に修正を求められたときなどは、修正後のファイルを 1 回目と同様に提出して下さい。同一ファイル名でも区別して管理されるため、「提出状況閲覧」から提出状況を見ると、2 回提出したこともわかります。

メモ帳の起動方法は、例えば次の 2 通りがあります。下の左図は、Windows 7 のスタートメニューの下部で「メモ帳」を検索しています。下の右図は、スタートメニュー — アクセサリ — メモ帳 と辿っています。

図 1: メモ帳を検索する

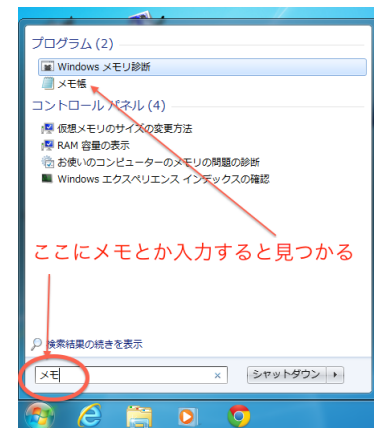
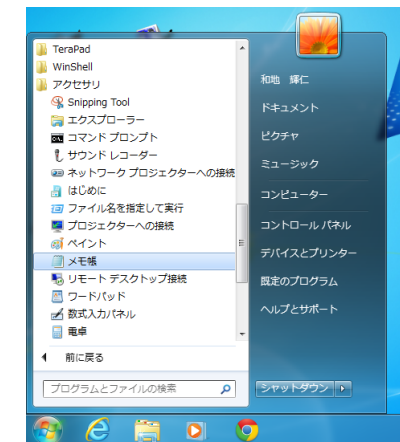


図 2: すべてのプログラムから辿る



(1.2) **課題の合否と再提出** 「提出状況閲覧」では、提出したファイルが課題番号ごとに一覧できます。複数回提出した課題では、新しいファイルほど下に表示されます。ファイル名の右に「合格」とあれば、その提出課題は合格です。「再提出」とあれば、修正して再提出して下さい。「提出状況閲覧」のファイル名を**右クリック**して、「対象をファイルに保存」を選択すると、ファイルをダウンロードできます³。

(1.3) **Excel の式** Excel のセルには、= で始まる**式**を入力することができます。

Excel の式の文法

= 式

次の課題では「IF」という関数を用います。

IF の文法

³ ファイルが Excel などの場合、右クリックではなく左クリックしてしまうと、正常にダウンロードできなくなります。その場合は、「対象をファイルに保存」を選択した後、保存のダイアログで「ファイルの種類」を「すべてのファイル」にし、適切な拡張子を付加してから保存します。

¹ テキストファイルの拡張子「.txt」も含めれば、「0000 和地-01.txt」となる

² URL は板書します

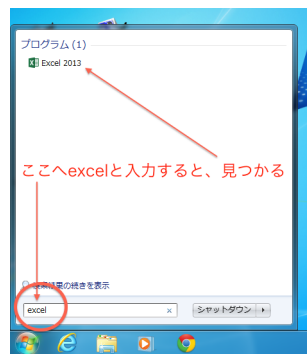
IF(論理式, 真の場合, 偽の場合)

使用方法は、Excel のヘルプでも見られます。

式にはセルの値も利用できるので、例えば、「= IF(A1 > 3, "3 より大きい", "小さい")」のような式が書けます。

Excel もメモ帳と同様に、スタートメニューから検索するなどして起動できます。

図 3: Excel を検索する



(1.4) **課題 02 – Excel でプログラムの初歩** 次の内容を記載した Excel のファイルを提出して下さい。ファイル名は、「0000 和地-02」のような「学生番号名前-課題番号」というファイル名にします。

- (1) 「提出用ページ」から、テキストファイル「grades.txt」をダウンロードし、その内容を、エクセルのシートの A 列の A1 から A100 までに埋める(コピーした後のコピー領域右下のアイコンを使うのが楽)。
- (2) A 列が 60 点以上ならば B 列に「合格」、そうでなければ「不合格」と表示する **IF を用いた式**を B 列に入力する。例えば、A1 のセルが 70 ならば B1 のセルに「合格」、A2 のセルが 50 ならば B2 のセルに「不合格」と表示されるような **IF を用いた式**を B1 から B100 までに入力する。
- (3) A 列の数値が、90 を超えていたら「!」(半角感嘆符)と表示されるような **IF を用いた式**を C1 から C100 までのセルに入力する。90 以下のときは

何も表示しなくてよい。

- (4) A 列の数値が、10 以下ならば「SS10」(すべて半角)と表示されるような **IF を用いた式**を D1 から D100 までのセルに入力する。
- (5) A 列の数値が、7 の倍数ならば「なな」と表示されるような **IF を用いた式**を E1 から E100 までのセルに入力する。

完成したシートは以下ようになる。ただし、B 列から E 列までは、このように手入力するのではなく、このように表示される **IF を用いた式**を入力すること。

特に、

- 「より大きい」「より小さい」「未満」「超える」と「以上」「以下」「超えない」の区別の間違い

が多いので気を付けて下さい。

図 4: 課題 02

	A	B	C	D	E	F
1	3	不合格		SS10		
2	49	不合格			なな	
3	63	合格			なな	
4	44	不合格				
5	84	合格			なな	
6	65	合格				
7	94	合格	!			
8	22	不合格				
9	21	不合格			なな	
10	34	不合格				
11	45	不合格				
12	4	不合格		SS10		
13	46	不合格				
14	17	不合格				
15	87	合格				
16	96	合格	!			
17	46	不合格				
18	63	合格				

§2 最初の Small Basic プログラム

(2.1) **インストールと起動** 大学のコンピュータ室には Small Basic がインストールされていますが、自分のコンピュータにインストールするには、以下のようにします。

Microsoft のサイト <http://smallbasic.com> に、Small Basic のインストーラ SmallBasic.msi があります。これをダウンロードして実行すると Small Basic をインストールできます⁴。

Small Basic を起動するには、デスクトップのアイコン (下の左図) をダブルクリックすればよいのですが、コンピュータ室のコンピュータではうまくいかないこともあります。そこで、スタートメニューから、Small Basic を検索し、「Small Basic (日本語)」と「日本語」の付いている方を実行します。

図 5: Small Basic のアイコン

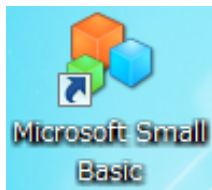
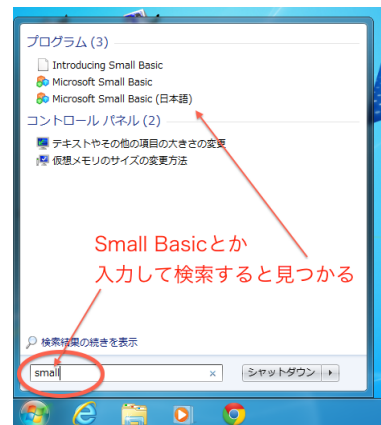


図 6: Small Basic を検索する



検索しても Small Basic が見つからない場合は、エクスプローラを使い、

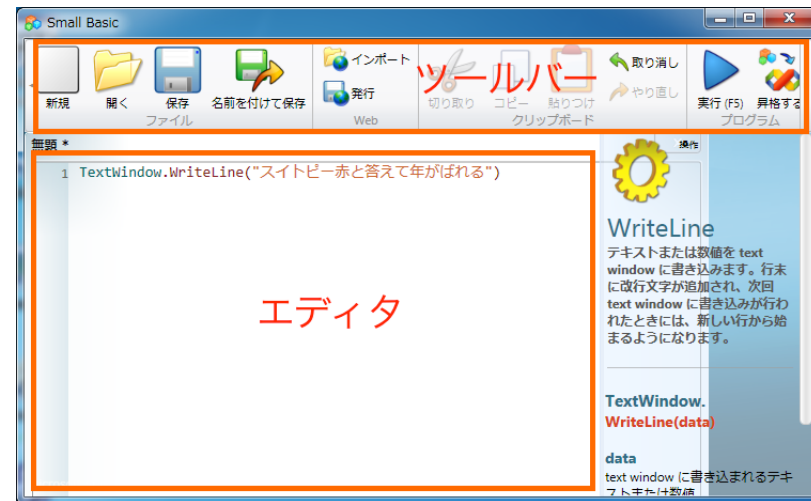
C: → Program Files (x86) → Microsoft → Small Basic

の順にフォルダを開き、SB (SB.exe と表示されているかも知れません) をダブルクリックで実行します。

⁴Windows のみで実行可能です。また、Windows XP など古い OS だと、「.NET Framework 3.5 SP1」もインストールする必要があります。

(2.2) **最初のプログラム** 起動すると図のようなウィンドウが現れます。ウィンドウ上部にはボタンが配置された「ツールバー」があり、その下にはプログラムを入力する「エディタ」があります。

図 7: 各部名称



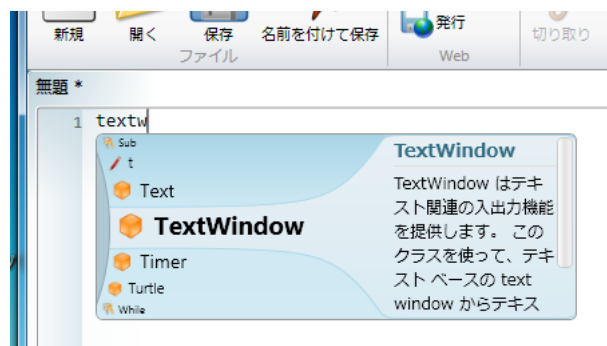
実際に次の 1 行からなるプログラムをエディタに入力してみます。これは、文字列を表示して改行する命令です。

最初のプログラム

```
1 TextWindow.WriteLine("スイートビー赤と答えて年がばれる")
```

すると入力中に、候補を表示したメニューが現れます。

図 8: インテリセンス



これは、**インテリセンス**と呼ばれる入力補助で、クリックで候補を選択し、ダブルクリックや Enter キーで確定できます。また、Tab キーで候補を補完することもできます。

プログラムを**実行**するには、ツールバーの実行ボタンを押します。実行すると、**テキストウィンドウ**と呼ばれるウィンドウが開いて⁵そこに俳句が表示されます⁶。

実行例

スイトピー 赤と答えて 年がばれる
Press any key to continue...

プログラムを**保存**するには、ツールバーの保存ボタンを押します。すると、.sb ファイルが保存され、その後でプログラムを実行するとさらに 3 つのファイルが保存され、まとめると、下の 4 つのファイルが作成されます。

- .sb ファイル: プログラム本体です。メモ帳でも開けます。
- .exe ファイル: 実行ファイルです。ダブルクリックで起動します。
- .pdb ファイル: 各種データを保存しています。
- .dll ファイル: .exe ファイルの実行に必要なものです。

⁵Small Basic のウィンドウの背面に隠れているかも知れません。

⁶終了するには、何かのキーを押します。

このうち、.dll ファイルは、複数のプログラムで共用できますので、同じフォルダに複数のプログラムを保存しても、.dll ファイルは 1 つだけ作成されます。

(2.3) **保存したプログラムの開き方** プログラムの書かれた .sb ファイルは、特定のアプリケーションに関連づけられていなければ、ダブルクリックしても開くことができません。この状態で .sb ファイルを開くには、まず Small Basic を起動し、メニューの「ファイル - 開く」から開きます。

.sb ファイルをダブルクリックして Small Basic で開くようにしたければ、.sb ファイルを Small Basic に関連づけるとよいです⁷。

(2.4) **課題 03 – Small Basic で俳句** 何か俳句を考え、次の実行例のように俳句を表示するプログラムを書き、.sb ファイルを提出して下さい。つまり、「0000 和地-03.sb」のようなファイルを提出して下さい。

実行例

**スイトピー
赤と答えて
年がばれる**

(2.5) **構造「順次」** 上の課題のように、複数の文を連続して実行するプログラムの構造を「**順次**」と呼びます⁸。

順次

文 1
文 2
:

⁷方法は授業で言うかも知れません

⁸これだけでは何が大事かわからないですが、順次はプログラムにおいて大事な 3 つの構造のうちの (最も簡単な) 1 つです。残り 2 つもそのうち紹介します。

(2.6) **コメント** プログラムの途中に 1 重引用符「`'`」を置くと、そこから行末までが無視されます。これを利用して、プログラムの中にコメントを書くことができます。例えば、次の項では、コメントを利用して説明を記しています。

(2.7) **文、オブジェクト、メソッド、プロパティ** 下のプログラムの各部分は、**オブジェクト、メソッド、入力 (引数とも言う)** と呼ばれます。

用語の説明

```
1 TextWindow.WriteLine("スイトピー赤と答えて年がばれる")
2 '      ↑      ↑      ↑
3 'オブジェクト メソッド 入力 (引数とも言う)
```

また、ドットの後には、**プロパティ**と呼ばれるものも来ます。例えば、TextWindow オブジェクトは、文字の色を表す ForegroundColor プロパティを持ち、下のようになると文字の色⁹を変更してから文字列を表示します。

プロパティ

```
1 'オブジェクト プロパティ
2 '      ↓      ↓
3 TextWindow.ForegroundColor = "Green"
4 TextWindow.WriteLine("スイトピー赤と答えて年がばれる")
```

まとめると次のようになります。

- 文: 命令の最小単位。上の例では 1 行が 1 文だが、複数行に渡ることもある。
- オブジェクト: 操作の対象となるもの。ドットの前にある。
- メソッド: 操作の名前。ドットの後にある。
- 入力 (引数): メソッドに与えるデータ。丸かっこでくるむ。
- プロパティ: オブジェクトの持つ状態の名前。ドットの後にある。

⁹Green の他に使えるものは、Black, Blue, Cyan, Gray, Magenta, Red, White, Yellow, DarkBlue, DarkCyan, DarkGray, DarkGreen, DarkMagenta, DarkRed, DarkYellow です。

(2.8) **演算子** Small Basic では、次の演算子が使えます。商は、 $9 / 4$ の結果が 2.25 になるなど、小数点以下も割り算を続ける商です。また、整数の商の演算子を用意されていませんが、Math.Remainder(割られる数, 割る数) というメソッドで計算できます¹⁰。

表 1: 演算子

数値演算子	説明	比較演算子	説明
+	和	=	等しい
-	差	<>	等しくない
*	積	>	(左辺が) 大きい
/	商	>=	大きいか等しい
Math.Remainder	余り	<	小さい
		<=	小さいか等しい
論理演算子	説明	文字列演算子	説明
And	かつ	+	連結
Or	または		

(2.9) **演算の例** 以下に演算の例を示します。TextWindow.Write メソッドは、TextWindow.WriteLine メソッドと同じくテキストウィンドウに文字列を表示しますが、表示した後に改行しない点が異なります。また、今までも既に用いてきましたが、文字列は 2 重引用符 (ダブルクォーテーション) (") で囲む必要があります。

演算の例

```
1 TextWindow.Write("1 + 2 = ")
2 TextWindow.WriteLine(1 + 2)
3 TextWindow.Write("文字列のa+文字列のb = ")
```

¹⁰これらの表以外でよく使われる整数の商を求める演算子はなく、メソッドも用意されていません。また、論理否定 (not) もありません。

```

4 TextWindow.WriteLine("a" + "b")
5 TextWindow.Write("文字列の1+文字列の2 = ")
6 TextWindow.WriteLine("1" + "2")

```

実行例

```

1 + 2 = 3
文字列のa+文字列のb = ab
文字列の1+文字列の2 = 3

```

3 行目の演算結果が、「12」にならない点は注意が必要です¹¹。

(2.10) **課題 04 – 演算** 上の例にならって、下の実行例のような出力を行うプログラムを作成し、.sb ファイルを提出して下さい。つまり、「0000 和地-04.sb」のようなファイルを提出して下さい。ただし、左辺は単に文字列を出力し、右辺は Small Basic の演算子を用いて計算した結果を出力すること。また、文字の色は、1 行目は White、2 行目は Green、3 行目は Blue、4 行目は Cyan で表示すること。

実行例

```

電子 + 計算機 = 電子計算機
37 * 3 = 111
100 / 8 = 12.5
30を7で割った余り = 2

```

§3 変数

(3.1) **変数** **変数**とは、数値や文字列の値を保存しておく入れ物です。変数名は、If などの Small Basic のキーワードでない限り、先頭が英字、その後は英数字であれば自由に付けられます。

変数

¹¹Perl などこのような結果になりますが、利点より害が大きい気がします。

```

1 a = 3
2 b = "c"
3 TextWindow.WriteLine(a)
4 TextWindow.WriteLine("a")
5 TextWindow.WriteLine(b)

```

実行例

```

3
a
c

```

このように、2 重引用符で囲むと文字列そのものを意味し、囲まなければ、その名前の変数を意味します。

(3.2) **キーボードからの入力** TextWindow.Read メソッドを実行すると、キーボードからの入力待ちになり、何か入力して Enter を押すと、メソッドは入力した文字列を値として返します。これをメソッドの**戻り値**あるいは**返り値**と呼びます。

キーボードからの入力

```

1 TextWindow.WriteLine("俳句を入力して下さい")
2 a = TextWindow.Read()
3 TextWindow.WriteLine("入力は、" + a)

```

入力を促されたときに、「ぶらんこに乗りて笑って漕ぎもせず」と入力したならば、次のような画面になります。

実行例

```

俳句を入力して下さい
ぶらんこに乗りて笑って漕ぎもせず
入力は、ぶらんこに乗りて笑って漕ぎもせず

```

ただし、上の実行例では、2 行目は実行時に人間がタイプしたものです。

(3.3) **課題 05 – 変数とキーボードからの入力** 次のような動作をするプログラムを作成し、.sb ファイルを提出して下さい。

- (1) 「大事なことを入力」と表示する。
- (2) キーボードからの入力をする
- (3) 「大事だから 1 度しか言いません。○○○○○」と表示する (○○○○○は入力した文字列)
- (4) 「さらに大事なことを入力」と表示する。
- (5) キーボードからの入力をする
- (6) 「×××××、×××××。大事だから 2 度言いました。」と表示する (×××××は入力した文字列)

実行例

```
大事なことを入力
燕は春の季語です
大事だから1度しか言いません。燕は春の季語です
さらに大事なことを入力
蜥蜴は夏
蜥蜴は夏、蜥蜴は夏。大事だから2度言いました。
```

ただし、上の実行例では、2 行目と 5 行目が人間が実行時にタイプしたものです。

(3.4) **キーボードからの数値の入力** キーボードから、文字列ではなく数値を入力したいときは、`TextWindow.ReadNumber` メソッドを用います。このとき、数字以外は入力できません。このメソッドは入力した数値を戻り値として返します。

キーボードからの数値の入力

```
1 TextWindow.WriteLine("何か数値を入力して下さい")
2 a = TextWindow.ReadNumber()
3 TextWindow.WriteLine("入力の2倍は、" + a*2)
```

入力を促されたときに、「12」と入力したならば、次のような画面になります。ただし、2 行目の「12」は人間がタイプしたものです¹²。

実行例

```
何か数値を入力して下さい
12
入力の2倍は、24
```

(3.5) **自動型変換と演算の優先順位** 上の例では、「"入力の 2 倍は、"」という文字列と、「a*2」(の計算結果) という数値とを、型が異なるにも関わらず、演算子 + で加えています。これは、数値を文字列に自動的に変換して、文字列どうしの和 (つまり連結) を計算します。

また、通常の和と積と同じように、演算の優先順位があるので、和よりも a*2 の積が先に計算されます。もしも、a*2 の部分が a+2 であれば、期待とは異なる動作になります。こういった場合は、優先順位を変更するために、(a+2) とするとよいです。

(3.6) **課題 06 – 変数とキーボードからの数値の入力** 次のような動作をするプログラムを作成し、.sb ファイルを提出して下さい。

- (1) 「A さんは分速 72m、それより遅れて、B さんは分速 80m で歩き始めました。」と表示する。
- (2) 「何分遅れたか入力」と表示する。
- (3) キーボードから数値の入力をする
- (4) 「B さんが出発してから○分後に、× m 先で A さんに追い付きます。」と表示する (○と×は計算してその値を表示させる)。

10 と入力したときの実行例

```
A さんは分速 72m、それより遅れて、B さんは分速 80m
で歩き始めました。
```

¹²このプログラムでは、文字列と数値の和を計算していますが、文字列どうしの連結のように計算されています。これは、Perl 的ですが、あまり良い挙動ではない気がします。

何分遅れたか入力

10

B さんが出発してから 90 分後に、7200m 先で A さんに追いつきます。

23 と入力したときの実行例

A さんは分速 72m、それより遅れて、B さんは分速 80m で歩き始めました。

何分遅れたか入力

23

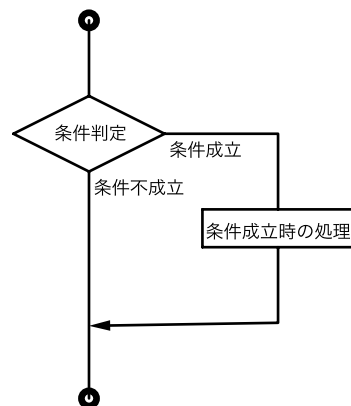
B さんが出発してから 207 分後に、16560m 先で A さんに追いつきます。

上の各実行例では、紙面の都合で文の途中で折り返してありますが、プログラムではそうする必要はありません。また、各実行例の 3 行目 (折り返しがあるので、紙面では 4 行目) は人間がタイプしたものです。

§4 条件分岐

(4.1) **If 文** ある条件が成立するときのみ、何かの処理をしたい場合 **If 文** を用います。

図 9: If 文の流れ図

**分岐 (If..Then..EndIf)**

If 条件 Then

条件成立時の処理 (複数行でもよい)

EndIf

次の例では、Math.GetRandomNumber(100) というメソッドで、1 から 100 までの乱数を取得して、変数 point に代入して表示し、その値が 60 以上ならば「合格」などと表示します。

If 文の例

```

1 point = Math.GetRandomNumber(100)
2 TextWindow.WriteLine(point)
3 If point >= 60 Then
4     TextWindow.WriteLine("合格")
5     TextWindow.WriteLine("おめでとう")
6 EndIf
  
```

実行例その 1

95

合格
おめでとう

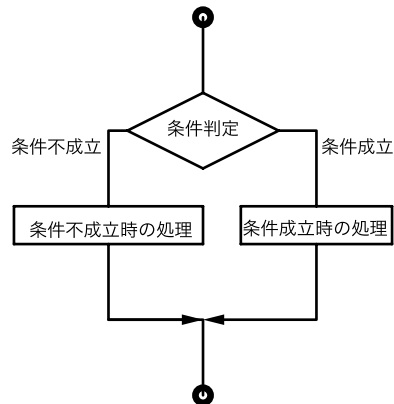
実行例その 2

59

ただし、上の各実行例では、1 行目は人間が実行時にタイプしたものです。

(4.2) **Else 節** If 文では、条件が成立したときだけでなく、Else を用いて不成立の場合も処理をさせることができます。

図 10: Else の流れ図

**分岐 (If..Then..Else..EndIf)**

```

If 条件 Then
  条件成立時の処理
Else
  条件不成立の時の処理
EndIf
  
```

構造「順次」は既に見ましたが、この If 文の構造は「分岐」と呼ばれます。

Else 節の例

```

1 t = TextWindow.ReadNumber()
2 If t >= 25 Then
3   TextWindow.WriteLine("夏")
4 Else
5   TextWindow.WriteLine("冬")
6 EndIf
  
```

実行例

```

24
冬
  
```

ただし、上の実行例では、1 行目は人間がタイプしたものです。

(4.3) **プログラムのフォーマット** If t >= 25 Then まで入力して、Enter を入力すると、カーソル位置は行頭に戻るのではなく、スペース 2 つ分インデントした位置に来ます。

Then の後に Enter を入力したときのカーソル位置

```

If t >= 25 Then
  _ <-この下線の位置
  
```

「条件成立時の処理」がひと固まりのブロックとして判別し易いように、ブロックごとインデントするのが作法とされているからです。編集作業の結果、インデントが狂ってしまっても、エディタのウィンドウを右クリックして「プログラムのフォーマット」を選択すると、プログラム全体のインデントを適切に修正してくれます。

(4.4) **課題 07 – 条件分岐その 1** 次のような動作をするプログラムを作成し、.sb ファイルを提出して下さい。

- (1) 「馬の年齢を入力」と表示する。
- (2) キーボードから数値の入力をする
- (3) 人間の年齢に換算すると何歳かを「人間だと○歳」と表示する。

ただし、馬の年齢 x を人間の年齢に換算するには次の式を用います。

$$(\text{人間に換算した年齢}) = \begin{cases} 6x & (x < 3) \\ 3x + 8 & (x \geq 3) \end{cases}$$

実行例その 1

```

馬の年齢を入力
5
人間だと23歳
  
```

実行例その 2

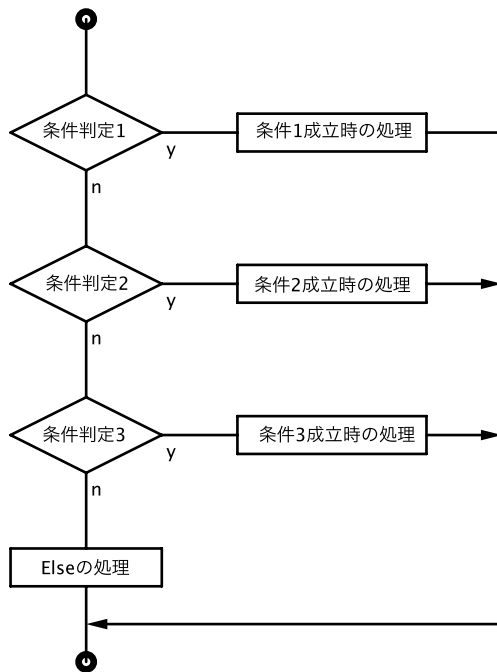
```

馬の年齢を入力
1
人間だと6歳
  
```

ただし、上の各実行例では、2 行目は人間がタイプしたものです。

(4.5) **ElseIf 節** If 文で ElseIf を用いると、いくつかの場合分けをして処理をさせることができます¹³。

図 11: If...ElseIf...Else の流れ図



分岐 (If...Then...ElseIf...Else...EndIf)

```

If 条件1 Then
  条件1 成立時の 処理
ElseIf 条件2 Then
  条件2 成立時の 処理
:
Else
  どの条件も 不成立の時の 処理
  
```

¹³ここに示したものが、If 文の完全な文法です。ElseIf は何回出現しても（しなくても）構いませんし、Else は最後に 1 回あるか、ないかのいずれかです。

EndIf

複数の条件が成立するような場合でも、最初に成立した条件の処理だけを実行します。

下の例で、Clock.Hour メソッドは、現在時刻の時間の数値を 24 時制で返します。その値に応じて表示する文字列を変えています。

ElseIf 節の例

```

1 h = Clock.Hour
2 If h <= 7 Then
3   TextWindow.WriteLine("睡眠")
4 ElseIf h >= 9 And h < 18 Then
5   TextWindow.WriteLine("大学")
6 Else
7   TextWindow.WriteLine("暇")
8 EndIf
  
```

16:30 に実行した場合の実行例

大学

(4.6) **課題 08 – 条件分岐その 2** 次のような動作をするプログラムを作成し、.sb ファイルを提出して下さい。ElseIf を最低 1 回は用いること。

- (1) 「点数を入力」と表示する。
- (2) キーボードから数値の入力をする
- (3) 点数が 60 以上ならば「合格」と表示する。
- (4) 点数が 60 未満ならば「不合格」と表示する。
- (5) 点数が 90 以上ならば「A」と表示する。
- (6) 点数が 50 以上 60 未満ならば「F*」と表示する。

複数の条件に合致する場合も考える必要があるので注意すること。

実行例その 1

点数を入力

70
合格

実行例その 2

点数を入力
95
合格
A

実行例その 3

点数を入力
45
不合格

ただし、上の各実行例では、2 行目は人間がタイプしたものです。

(4.7) **課題 09 – 最大値** 次のような動作をするプログラムを作成し、.sb ファイルを提出して下さい。ただし、Math.Max メソッドは用いないこと¹⁴。

- (1) 「数値を 3 つ入力」と表示する。
- (2) キーボードから数値の入力を 3 回行う。
- (3) 3 つの数値の最大値を求め、「最大値 = ○○」と表示する。

実行例

数値を 3 つ入力
1
6
-3
最大値 = 6

ただし、上の実行例では、2, 3, 4 行目は人間がタイプしたものです。

¹⁴Math.Min メソッドも用いないこと。

(4.8) **課題 10# – 最大値 (義務ではない)** 課題 09 と同じ動作をするプログラムを作成し、.sb ファイルを提出して下さい。今度は、If 文は用いず、Math.Max メソッドを用いて作成すること。

(4.9) **課題 11# – 最大値 (義務ではない)** 課題 09 と同じ動作をするプログラムを作成し、.sb ファイルを提出して下さい。ただし、Math.Max メソッド、Math.Min メソッドは用いてはならず、If 文は 2 つしか用いてはいけない。Else や ElseIf も用いないこと¹⁵。

§5 For 文による繰り返し

(5.1) **For 文** 同じような処理を繰り返す場合は **For 文** を用います。同じ俳句を 18 回表示したいときは、同じ命令を 18 回続けて書いてもよいですが、For 文を用いると次のように書けます。

For の例

```
1 For i = 1 To 18
2   TextWindow.WriteLine("英畹豆むく背を見れば思い出す")
3 EndFor
```

i を **カウンタ変数** と呼び、この変数が **開始値** 1 から **終了値** 18 まで変わりながら、For と EndFor の間が繰り返されます。

繰り返し (For)

```
For 変数 = 開始値 To 終了値
  繰り返す処理
EndFor
```

次のように、繰り返す処理中でカウンタ変数の値を利用できます。

For 文でのカウンタ変数の値の利用

```
1 For j = 3 To 5
```

¹⁵実際には、If 文、Math.Max メソッド、Math.Min メソッドのいずれも使わずに最大値を求められます。

```
2   TextWindow.WriteLine(j + "番射出")
3   EndFor
```

実行例

```
3番射出
4番射出
5番射出
```

(5.2) **課題 12 – For 文** 次のような動作をするプログラムを For 文を用いて作成し、.sb ファイルを提出して下さい。

- (1) 「1 の 3 乗は 1 です」と表示する。
- (2) 「2 の 3 乗は 8 です」と表示する。
- (3) 「3 の 3 乗は 27 です」と表示する。
- (4) 以下順に表示し続け、最後に「55 の 3 乗は 166375 です」と表示する。

実行例

```
1の3乗は1です
2の3乗は8です
3の3乗は27です
(中略)
54の3乗は157464です
55の3乗は166375です
```

(5.3) **Step[#]** For 文で Step を用いると、カウンタ変数の増分を指定できます。

Step

```
For 変数 = 開始値 To 終了値 Step 増分
  繰り返す処理
EndFor
```

Step の例

```
1 For j = 3 To 8 Step 2
2   TextWindow.WriteLine(j + "番射出")
3 EndFor
```

実行例

```
3番射出
5番射出
7番射出
```

(5.4) **課題 13[#] – Step (義務ではない)** 次のような出力をするプログラムを作成し、.sb ファイルを提出して下さい。

実行例

```
1の平方根は1です
4の平方根は2です
7の平方根は2.64575131106459です
10の平方根は3.16227766016838です
(中略)
55の平方根は7.41619848709566です
```

平方根の計算には、Math.Sqrt メソッドを用います。

(5.5) **For 文の利用** 繰り返しの処理で変数の値を順次変更することで、さまざまな処理が可能になります。

For 文の利用

```
1 sum = 0
2 For k = 1 To 100
3   sum = sum + k*k
4 EndFor
5 TextWindow.WriteLine("合計 = " + sum)
```

上のプログラムの `sum = sum + k*k` は、左辺の変数 `sum` の中身を、右辺の式 `sum + k*k` の値で置き換えるという意味です。つまり、For 文の処理を 1

回すごとに、変数 `sum` の値が、`k*k` 加算されたものに更新されていくため、合計として表示されるのは、 $1^2 + 2^2 + \dots + 100^2 = 338350$ です。

実行例

合計 = 338350

(5.6) **課題 14 – 数列の和** 次のような動作をするプログラムを作成し、`.sb` ファイルを提出して下さい。

- (1) 「数値を入力」と表示する。
- (2) 数値を入力する (入力した数値をここでは λ とおく)。
- (3) 1 から λ までの逆数の平方の和を計算する¹⁶。
- (4) 求めた和を「合計 = ○○」と表示する。

実行例

数値を入力
88
合計 = 1.6336347520379882228577792228

ただし、上の実行例では、2 行目は人間がタイプしたものです。また、上で「 λ 」と書いてあるのを変数の名前にそのまま使わず、自分で適切な変数名を付けて下さい。適切な変数名も、読み易いプログラム作成のためには大事です。

(5.7) **課題 15[#] – 階乗 (義務ではない)** 次のような動作をするプログラムを作成し、`.sb` ファイルを提出して下さい。

- (1) 「数値を入力」と表示する。
- (2) 数値を入力する。
- (3) 入力した数値の階乗を計算して、例えば「6 の階乗は 720 です」と表示する。

¹⁶和の項数を限りなく大きくすると、和は $\pi^2/6$ に近付きます。

実行例

数値を入力
10
10 の階乗は 3628800 です

ただし、上の実行例では、2 行目は人間がタイプしたものです。

(5.8) **課題 16[#] – フィボナッチ数列 (義務ではない)** 次のような動作をするプログラムを作成し、`.sb` ファイルを提出して下さい。

- (1) 「数値を入力」と表示する。
- (2) 数値を入力する (入力した数値をここでは λ とする)。
- (3) フィボナッチ数列の第 1 項から第 λ 項までを表示する。

ここで、フィボナッチ数列は、漸化式

$$F_1 = 1,$$

$$F_2 = 1,$$

$$F_{n+2} = F_{n+1} + F_n$$

で定められる。

実行例

数値を入力
10
1 1 2 3 5 8 13 21 34 55

ただし、上の実行例では、2 行目は人間がタイプしたものです。

§6 While 文による繰り返し

(6.1) **While 文** 条件成立の間処理を繰り返すには **While 文** を用います。For 文との違いは、

- For 文はあらかじめ反復回数が決まっているが、

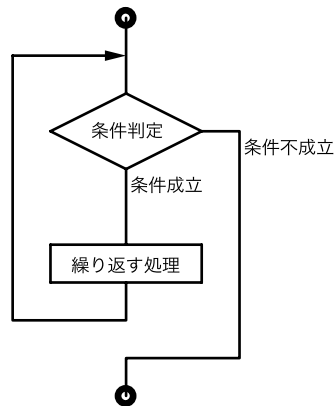
- While 文は、反復回数が事前にはわからない

という点です。次のような構造を「反復」と呼びます¹⁷¹⁸。

繰り返し (While)

```
While 条件
  条件成立の間繰り返す処理
EndWhile
```

図 12: While 文の流れ図



次の例では、貯金の合計が 100 円を超えると、繰り返子を終了します。

While の例

```
1 sum = 0
2 While sum <= 100
3   TextWindow.WriteLine("貯金せよ")
4   money = TextWindow.ReadNumber()
5   sum = sum + money
6 EndWhile
7 TextWindow.WriteLine(sum + "円貯まりました")
```

¹⁷For 文も広い意味での「反復」の構造と見なせます。

¹⁸最近では避けられる傾向にもありますが、処理の流れを流れ図 (フローチャート) で表すと便利なことがあります。If 文などの条件判定はひし形で、通常の処理は長方形で図示し、処理の流れを線で結びます。

下の実行例では、2、4、6 行目は人間がタイプしたものです。

実行例

```
貯金せよ
30
貯金せよ
45
貯金せよ
30
105円貯まりました
```

(6.2) 課題 17 – 割れるだけ割る 次のような動作をするプログラムを作成し、.sb ファイルを提出して下さい。

- (1) 「数値を入力」と表示する。
- (2) 数値を入力する (入力した数値をここでは λ とする)。
- (3) $\lambda = 2^n \cdot a$ (a は奇数) と書いたときの a を、「 λ を 2 で割れるだけ割ると a です」と表示する。

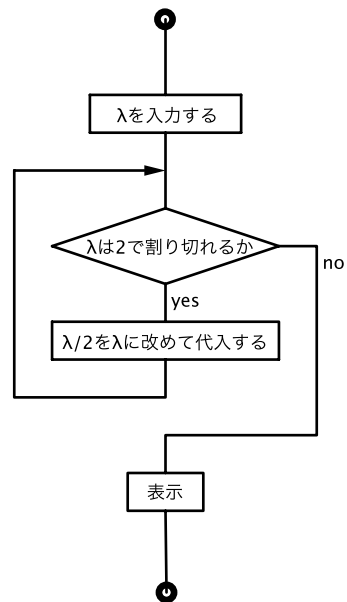
a は、「 λ が偶数である間、 λ を $\lambda/2$ に置き換える」という繰り返子を行うと求められます。

実行例

```
数値を入力
240
240を2で割れるだけ割ると15です
```

ただし、上の実行例では、2 行目は人間がタイプしたものです。

図 13: 課題 17 の流れ図



(6.3) **無限ループ** While 文の条件に、常に成立する条件 "true" (真)¹⁹を書くと²⁰、いつまでもループし続ける、**無限ループ**になります。

無限ループ

```

1 TextWindow.WriteLine("2乗 計算機 はじまり")
2 While "true"
3   a = TextWindow.ReadNumber()
4   TextWindow.WriteLine("2乗 は " + a*a)
5 EndWhile
  
```

実行例

```
2乗 計算機 はじまり
```

¹⁹逆に、常に成立しない条件 (偽) は "false" です。

²⁰"true"でなくても、1<2 などの常に成立する条件を書くと無限ループになります。

```

3
2乗 は9
5
2乗 は25
-4
2乗 は16
:
  
```

ただし、上の実行例では、2, 4, 6 行目は人間がタイプしたもので、ウィンドウを閉じない限りプログラムは停まらないので、途中までを例示してあります。

(6.4) **諸悪の根源 Goto** これから学ぶ Goto 文は、**みだりに使わないで下さい**²¹。読み易いプログラムのためには Goto 文は害悪であり、代わりに、「順次」、「分岐」、「反復」という 3 つの基本構造の組合せでプログラムを記述するというのが、**構造化プログラミング**の考えです²²。

Goto 文は、プログラム中に定義された**ラベル**の位置にプログラムの制御を移す命令です。

Goto

(A)

Goto hogehoge

(B)

hogehoge:

(C)

上の hogehoge のように、後ろにコロンを付けた文字列がラベルとして認識されます。上のプログラムだと (A) を実行した後、Goto 文で hogehoge: の位置に飛び、(C) を実行します。つまり、(B) は実行されません。

²¹過去には、使う、使わないで大論争を巻き起こしてもありますし、現在でもすぐに論争になります。

²²If 文、For 文、While 文において、インデントを用いてプログラムを書くことも、構造化プログラミングの考えに沿ったものです。

(6.5) **ループからの脱出** While 文は、ループの開始時点で条件を判断しますが、それでは不便なこともあるので、Goto 文を用いて強制的にループを脱出することができます²³。

次の例は、無限ループだった (6.3) とほぼ同じですが、0 を入力すると停止する点が異なります。

ループ脱出の例

```
1  TextWindow.WriteLine("停まる2乗計算機はじまり")
2  While "true"
3      a = TextWindow.ReadNumber()
4      If a = 0 Then
5          Goto finish
6      EndIf
7      TextWindow.WriteLine("2乗は" + a*a)
8  EndWhile
9  finish:
10 TextWindow.WriteLine("おわり")
```

実行例

```
停まる2乗計算機はじまり
3
2乗は9
5
2乗は25
0
おわり
```

ただし、上の実行例では、2, 4, 6 行目は人間がタイプしたものです。

(6.6) **課題 18 – 入力した数の合計** 次のような動作をするプログラムを作成し、.sb ファイルを提出して下さい。

(1) 「貯金せよ」と表示する。

²³ Small Basic ではループ脱出のための専用の命令がないので、仕方なく Goto 文を使いますが、ループ脱出のための命令 (たいてい break という命令) を持つプログラミング言語も多いです。

- (2) 数値を入力する。
- (3) 入力した数値が 0 でなければ、(1) に戻る。
- (4) 入力した数値が 0 ならば、今までの入力の合計を、「合計 = ○○」と表示する。

実行例

```
貯金せよ
30
貯金せよ
45
貯金せよ
30
貯金せよ
0
合計 = 105
```

ただし、上の実行例では、2, 4, 6, 8 行目は人間がタイプしたものです。

(6.7) **課題 19# – ユークリッドの互除法 (義務ではない)** 次のような動作をするプログラムを作成し、.sb ファイルを提出して下さい。

- (1) 「数値を 2 つ入力」と表示する。
- (2) 数値を 2 回入力する (入力した数値をここでは λ, μ とする)。
- (3) λ, μ の最大公約数を求め、「最大公約数 = ○○」と表示する。

ここで、最大公約数を求めるには、

- (i) λ を μ で割った余りを r と置く。
- (ii) $r = 0$ ならば、 μ は λ の約数になるので、最大公約数は μ 。
- (iii) $r \neq 0$ ならば、 $\lambda = \mu, \mu = r$ と代入し直して、最初に戻る。

という**ユークリッドの互除法**を用いるとよい。

実行例

```
数値を2つ入力
```

```

72
120
最大公約数 = 24

```

§7 サブルーチン

(7.1) **サブルーチン** サブルーチンとは、プログラムを実行したときの処理の流れ (**メインルーチン**) から独立させた、プログラム断片です。サブルーチンには、一般に次のような利点があります²⁴。

コード量の減少 複数回実行する処理を何度も記述するのではなく、サブルーチンにして呼び出すことで、コード量が減少する。

保守性 複数回実行する処理を何度も記述すると、修正を施すときに、間違いなくすべての該当箇所を修正するのが難しいが、サブルーチンに独立しておけば、修正箇所はサブルーチン中の 1 箇所です。

可読性 メインルーチンに複雑な処理があると、全体として何をしているか把握しづらいが、意味のあるまとまりをサブルーチンにしてメインルーチンから呼び出すようにすると、処理内容を把握し易くなる。

再利用性 意味のあるまとまりをサブルーチンにしておけば、別のプログラムで同じ処理が必要になった場合、再利用できる。

実装の隠蔽 何らかの状態を表す変数を直接変更したり参照したりするのではなく、サブルーチンを介してのみ変更・参照を許すなど、触れて欲しくない部分に触れないようにできる。将来サブルーチンのコードを改良して、状態を表す変数の役割が変わってしまったりしても、サブルーチンを変更するだけで呼び出し側のコードは変更せずに済む。

(7.2) **サブルーチンの定義と呼出し** Small Basic では次のようにサブルーチンを定義します。定義の場所は、いわゆるトップレベルならばどこでも構いませんが、メインルーチンの前か後でまとめて定義するのが良いでしょう。

サブルーチンの定義

```

Sub サブルーチン名
  処理 (複数行でもよい)
EndSub

```

定義されたサブルーチンの呼び出しは次のように行います。

サブルーチンの呼び出し

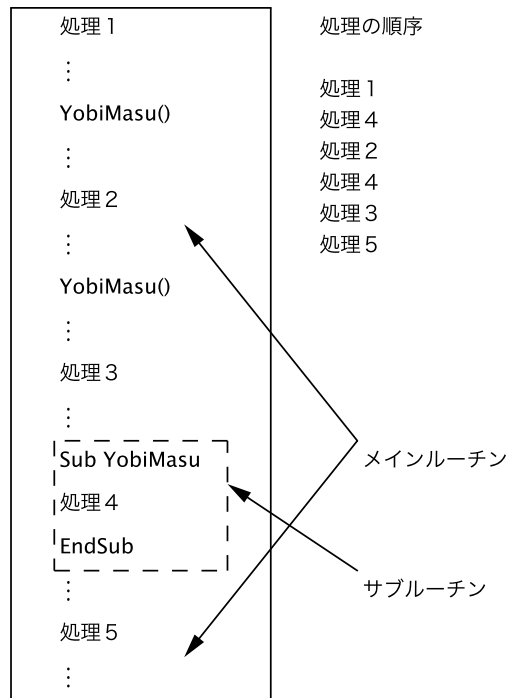
```

サブルーチン名( )

```

²⁴ Small Basic には変数の**スコープ**がないため、ここにあげた利点のうち、再利用性と実装の隠蔽については、十分に恩恵を受けられません。スコープとは変数の有効範囲のことで、Small Basic では、一度定義された変数はプログラム全体で有効です。つまりサブルーチンの中で変数を変更すると、メインルーチンの同名の変数は同一の変数なので変更されてしまいます。

図 14: サブルーチンの処理の順序



下の例では、サブルーチン「Hantei」を定義して2回呼び出しています。1から6行目がメインルーチン、8から14行目がサブルーチン定義です。実行の順序を行番号で示すと、1, 2, 9-13, 4, 5, 9-13 となります。

サブルーチンの例

```

1 TextWindow.WriteLine("あなたの点数を入力")
2 point = TextWindow.ReadNumber()
3 Hantei()
4 TextWindow.WriteLine("隣の人の点数を入力")
5 point = TextWindow.ReadNumber()
6 Hantei()
7
8 Sub Hantei
9   If point >= 60 Then

```

```

10 TextWindow.WriteLine("合格")
11 Else
12 TextWindow.WriteLine("不合格")
13 EndIf
14 EndSub

```

実行例

```

あなたの点数を入力
80
合格
隣の人の点数を入力
55
不合格

```

ただし、上の実行例では、2, 5 行目は人間がタイプしたものです。

(7.3) 課題 20 – 誕生日占い 次のような動作をするプログラムを作成し、.sb ファイルを提出して下さい。ただし、2 回ある、占い結果を表示する部分は、サブルーチンにすること。

- (1) 「あなたの誕生日を入力」と表示する。
- (2) 誕生日の数値を入力する。
- (3) 2 月生まれならば「素晴らしい」、それ以外は「ごく普通」と表示する。
- (4) 「隣の人の誕生日を入力」と表示する。
- (5) 誕生日の数値を入力する。
- (6) 2 月生まれならば「素晴らしい」、それ以外は「ごく普通」と表示する。

実行例

```

あなたの誕生日を入力
2
素晴らしい
隣の人の誕生日を入力
3
ごく普通

```

ただし、上の実行例では、2, 5 行目は人間がタイプしたものです。

(7.4) **サブルーチンの計算結果の利用** 下のプログラムでは、「Fibonacci」という名前のサブルーチン²⁵を 2 回呼び出しています。

サブルーチンの例

```
1  TextWindow.WriteLine("数を2つ入力")
2  s = TextWindow.ReadNumber()
3  t = TextWindow.ReadNumber()
4
5  n = s
6  Fibonacci()
7  TextWindow.Write(a + ", ")
8
9  n = t
10 Fibonacci()
11 TextWindow.WriteLine(a)
12
13 Sub Fibonacci
14     x = Math.Power(1.618034, n)
15     y = Math.SquareRoot(5)
16     a = Math.Round(x / y)
17 EndSub
```

`Math.Round(x)` は、`x` を四捨五入した整数を返すメソッド、`Math.Power(x, n)` は、`x` の `n` 乗を返すメソッドです。

実行例

数を2つ入力

```
4
5
3, 5
```

ただし、上の実行例では、2, 3 行目は人間がタイプしたものです。

(7.5) **課題 21 – フィボナッチ数列** 上のプログラム例で定義されているサブルーチン「Fibonacci」を**変更なしに再利用して**、次のような動作をする

²⁵フィボナッチ数列の第 n 項を計算して、変数 `a` に設定するサブルーチンです。この計算方法を課題 16 に用いてはいけません。ちなみに、この計算方法を即座に理解できる人は少ないと思いますが、入力に対して所望の出力 (今の場合はフィボナッチ数列の項) を返すことさえわかっているならば、ブラックボックスとして利用できます。これもサブルーチンの特徴のひとつです。

プログラムを作成し、`.sb` ファイルを提出して下さい。

- (1) 「数値を入力」と表示する。
- (2) 数値を入力する (入力した数値をここでは λ とする)。
- (3) フィボナッチ数列の第 1 項から第 λ 項までを表示する。

実行例

数値を入力

```
10
1 1 2 3 5 8 13 21 34 55
```

ただし、上の実行例では、2 行目は人間がタイプしたものです。

§8 いろいろな関数

(8.1) **数学関数の一覧** `Math` オブジェクトに属する数学関数の一覧を、以下に示します。Small Basic のエディタで「`Math.`」とタイプすると、インテリセンスで確認することもできます。`Math.Pi` のみプロパティです (つまり後続の括弧が不要)。

表 2: 数学関数の一覧

式	戻り値
<code>Math.Pi</code>	円周率
<code>Math.Cos(x)</code>	$\cos x$
<code>Math.Sin(x)</code>	$\sin x$
<code>Math.Tan(x)</code>	$\tan x$
<code>Math.ArcCos(x)</code>	$\cos^{-1} x$
<code>Math.ArcSin(x)</code>	$\sin^{-1} x$
<code>Math.ArcTan(x)</code>	$\tan^{-1} x$

式	戻り値
<code>Math.Log(x)</code>	$\log_{10} x$
<code>Math.NaturalLog(x)</code>	$\log_e x$
<code>Math.Max(x, y)</code>	x と y の最大値
<code>Math.Min(x, y)</code>	x と y の最小値
<code>Math.Ceiling(x)</code>	x 以上の整数のうち最小のもの
<code>Math.Floor(x)</code>	x 以下の整数のうち最大のもの
<code>Math.Round(x)</code>	x を四捨五入した整数
<code>Math.Abs(x)</code>	x の絶対値
<code>Math.Power(x, y)</code>	x^y
<code>Math.SquareRoot(x)</code>	$\sqrt{x}$
<code>Math.Remainder(x, y)</code>	x を y で割った余り
<code>Math.GetRandomNumber(max)</code>	1 から max の乱数
<code>Math.GetDegrees(x)</code>	x ラジアンを度に変換した値
<code>Math.GetRadians(x)</code>	x 度をラジアンに変換した値

三角関数、逆三角関数の引数や戻り値の単位はラジアンですので、度数法との間で変換したいときは、`Math.GetDegrees` や `Math.GetRadians` を使います。

(8.2) **文字列関数の一覧** `Text` オブジェクトに属する文字列関数の一覧を、以下に示します。Small Basic のエディタで「`Text.`」とタイプすると、インテリセンスで確認することもできます。

表 3: 文字列関数の一覧

式	戻り値
<code>Text.Append(text1, text2)</code>	2 つの文字列の連結
<code>Text.GetLength(text)</code>	文字列の長さ

式	戻り値
<code>Text.ConvertToLowerCase(text)</code>	小文字に変換した文字列
<code>Text.ConvertToUpperCase(text)</code>	大文字に変換した文字列
<code>Text.GetCharacter(code)</code>	文字コードが code の文字
<code>Text.GetCharacterCode(ch)</code>	文字 ch の文字コード
<code>Text.IndexOf(text, subText)</code>	文字列 text 中の subText の出現位置。現れなければ 0。
<code>Text.GetSubText(text, start, len)</code>	文字列 text の位置 start から len 文字分の文字列
<code>Text.GetSubTextToEnd(text, start)</code>	文字列 text の位置 start から最後まで文字列
<code>Text.IsSubText(text, subText)</code>	文字列 text 中に subText が現れれば True。
<code>Text.StartsWith(text, subText)</code>	文字列 text が subText から始まっていると True
<code>Text.EndsWith(text, subText)</code>	文字列 text が subText で終わっていると True

上の表で、文字コードは Unicode の文字コードです。`Text.Append` は演算子「+」と同じ動作ですが、文字列が数値を表しているときにも、数値として解釈して和を計算するのではなく、文字列として連結をします。

(8.3) **課題 22[#] – 大きい数の桁数 (義務ではない)** 次のような動作をするプログラムを作成し、.sb ファイルを提出して下さい。

- (1) 「a の b 乗の a と b を入力」と表示する。
- (2) 2 数を入力する。(入力した 2 数を、ここでは α, β とする)
- (3) α^β の桁数を求め、「 α の β 乗は〇〇桁です」と表示する。

実行例

```
aのb乗のaとbを入力
7
1234
7の1234乗は1043桁です
```

ただし、上の実行例では、2, 3 行目は人間がタイプしたものです。また、上のように、1000 桁程度の結果も正しく表示されるようにすること²⁶。

(8.4) 課題 23[#] – 部分文字列 (義務ではない) 次のような動作をするプログラムを作成し、.sb ファイルを提出して下さい。

- (1) 「3 文字以上の文字列を入力」と表示する。
- (2) 文字列を入力する (入力した文字列をここでは λ とする)。
- (3) λ が 3 文字に満たなければ、何もしない。
- (4) λ が 3 文字以上ならば、「先頭から 3 文字は ○○○ です」、「末尾から 3 文字は ○○○ です」と表示する。

実行例その 1

```
3文字以上の文字列を入力
hokkyodai
先頭から3文字はhokです
末尾から3文字はdaiです
```

実行例その 2

```
3文字以上の文字列を入力
tt
```

ただし、上の各実行例では、2 行目は人間がタイプしたものです。

§9 数値計算

(9.1) ニュートン法 方程式の解の近似値を求める代表的な方法が、**ニュートン法**です。関数 $y = f(x)$ が $f(x) = 0$ を満たす x (零点) を持ち、その零点

²⁶ ヒント: 対数 (Math.Log) を使えば 1000 桁程度の結果にも対応できます。

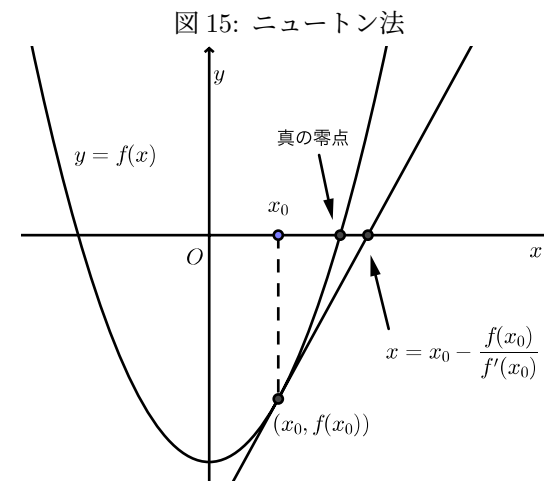
の近くでは $f(x)$ は微分可能で、導関数 $f'(x)$ は 0 にならないとします。零点に十分近いと思われる $x = x_0$ をとると、 $y = f(x)$ の $x = x_0$ における接線の方程式は、

$$y - f(x_0) = f'(x_0)(x - x_0)$$

となり、この直線の x 切片を求めると、 $y = 0$ とおくことより、

$$x = x_0 - \frac{f(x_0)}{f'(x_0)} \quad (\#)$$

となります。この x 切片は、 $f(x)$ の零点により近いと考えられます²⁷。



つまり、上の (#) 式を用いて、 x_0 を x に取り替えることを反復すると、徐々に真の零点に近付いていきます。取り替えても変化しなくなったならば、真の零点に到達したと考えてよいです。実際には誤差があるので、 $f(x_0)/f'(x_0)$ が十分小さくなったら、真の零点の近似値が得られたと考えられます。

$\sqrt{2}$ は $x^2 - 2$ の正の零点だから、ニュートン法で計算するプログラムは以下のようになります。

²⁷ 一般的な関数ならば x_0 よりも真の零点に近くなるが、そうならないこともある。

ニュートン法による $\sqrt{2}$ の計算例

```

1 x = 2
2 While "true"
3     dx = (x*x-2) / (2*x)
4     if Math.Abs(dx) < 0.00000001 Then
5         Goto finish
6     EndIf
7     x = x - dx
8 EndWhile
9 finish:
10 TextWindow.WriteLine(x)

```

実行例

```
1.4142135623746899106262955789
```

環境により、多少結果が異なる可能性があります。

上の図を見ると、最初にとる x_0 が正であれば、正の零点が近似値として得られますが、負であれば、負の零点が得られることがわかります。従って、求めたい零点に応じて初期値 x_0 を適切に決める必要があります。また、 $f(x)$ や x_0 のとり方によっては、反復が終了しない場合もあります。これは、簡単に言えば x_0 の周辺に零点がない場合です。回避するためには、初期値 x_0 のとり方を、零点に近いと思われる付近に変更します。

(9.2) **課題 24 – ニュートン法** 次のような動作をするプログラムを作成し、.sb ファイルを提出して下さい。

(1) 5 次方程式 $x^5 - 10x + 10 = 0$ の解の近似値を表示する。

実行例

```
4.898979485566356859259992937455
```

ただし、上の実行例の値は適当です。

§10 配列

今学期はやりません。

§11 グラフィックス

今学期はやりません。

§12 練習問題

(12.1) **課題 25# – カウントダウン (義務ではない)** 次のような動作をするプログラムを作成し、.sb ファイルを提出して下さい。

- (1) 「秒数を入力」と表示する (入力した数値を、ここでは λ とする)。
- (2) λ から始めて、1 ずつ減少しながら 0 まで、数値を 1 秒おきに表示する。

実行例

秒数を入力

```

5
5
4
3
2
1
0

```

ただし、上の実行例では、2 行目は人間がタイプしたものです。3 行目以降の出力は、一斉に表示されるのではなく、1 秒おきに表示されるようにすること。

Program.Delay(msec) を用いると、msec ミリ秒何もせずに停止するので、これを用いると 1 秒間隔の表示が実現できます。また、変数が減少しながらの繰り返しは、For 文の Step に負の値 (今の場合ならば -1) を指定しても実現できますし、i が 0 から λ まで増加するとき、 $\lambda - i$ は λ から 0 まで減少することを用いても実現できます。

(12.2) **課題 26[#] – 約数列挙 (義務ではない)** 次のような動作をするプログラムを作成し、.sb ファイルを提出して下さい。

- (1) 「整数を入力」と表示する (入力した数値を、ここでは λ とする)。
- (2) λ の正の約数をすべて表示する。

実行例

```
整数を入力
12
約数は 1 2 3 4 6 12
```

ただし、上の実行例では、2 行目は人間がタイプしたものです。

(12.3) **課題 27[#] – 最大の約数 (義務ではない)** 次のような動作をするプログラムを作成し、.sb ファイルを提出して下さい。

- (1) 「整数を入力」と表示する (入力した数値を、ここでは λ とする)。
- (2) λ の約数のうち、 λ 未満で最大のものを表示する。

実行例

```
整数を入力
12
最大の真の約数は 6
```

ただし、上の実行例では、2 行目は人間がタイプしたものです。

(12.4) **課題 28[#] – 公約数 (義務ではない)** 次のような動作をするプログラムを作成し、.sb ファイルを提出して下さい。

- (1) 「整数を 2 つ入力」と表示する。
- (2) 2 つの整数の公約数をすべて表示する。

実行例

```
整数を 2 つ入力
12
18
公約数は 1 2 3 6
```

ただし、上の実行例では、2, 3 行目は人間がタイプしたものです。

(12.5) **課題 29[#] – 素因数分解 (義務ではない)** 次のような動作をするプログラムを作成し、.sb ファイルを提出して下さい²⁸。

- (1) 「整数を入力」と表示する。
- (2) 入力された整数の素因数分解を表示する。

実行例

```
整数を入力
1800
素因数分解は 2 2 2 3 3 5 5
```

ただし、上の実行例では、2, 3 行目は人間がタイプしたものです。

(12.6) **課題 30[#] – 素数 (義務ではない)** 次のような動作をするプログラムを作成し、.sb ファイルを提出して下さい。

- (1) 「正の整数を入力」と表示して、正の整数を入力
- (2) 入力された整数以上で最小の素数を p として、「次の素数は p 」と表示する。

実行例

```
正の整数を入力
24
次の素数は 29
```

²⁸ ヒント: 入力された数を λ とすると、 λ を割り切る数を小さい方から探索し、見付かったら (それを t として) t を表示し、続けて λ/t の約数の表示をすればよい。

実行例**正の整数を入力**

23

次の素数は23

ただし、上の各実行例では、2 行目は人間がタイプしたものです。

(12.7) **課題 31# – 剰余環における逆元 (義務ではない)** 次のような動作をするプログラムを作成し、.sb ファイルを提出して下さい。

- (1) 「法を入力」と表示し、正の整数を入力 (ここでは m とする)。
- (2) 「整数を入力」と表示し、整数を入力 (ここでは x とする)。
- (3) $xy - 1$ が m の倍数となるような整数 y が存在するならば、「 m を法とする x の逆元は y 」と表示し、存在しないならば、「逆元はない」と表示する。

実行例**法を入力**

5

整数を入力

2

5 を法とする 2 の逆元は 3**実行例****法を入力**

9

整数を入力

7

9 を法とする 7 の逆元は 4**実行例****法を入力**

8

整数を入力

2

逆元はない

ただし、上の各実行例では、2, 4 行目は人間がタイプしたものです。

3 授業のノート (T_EX 編)

§1 文書組版システム T_EX の導入

T_EX(テフ, テック) とは「組版ソフトウェア」です。組版とは活字を組んで版を作ることなので、これは文書を作成するソフトウェアを意味しています。以下に T_EX の大事な特徴をあげます。

- フリーソフトウェアであり、かつ、あらゆる OS で動作する。
- 文書の論理構造を明確にでき、相互参照も強力。
- 数式が美しい。

これらほど大事ではない特徴も脚注²⁹ や傍注 にあげます。

大学のコンピュータ室や、数学研究室のコンピュータには、いくつかある T_EX の亜種のうち、最も広く使われている L^AT_EX2_ε (ラテフツーイー、ラテックツーイー) が導入されています。自宅のコンピュータでも T_EX を利用したい場合、以下のような方法があります。上ほどお勧めです。

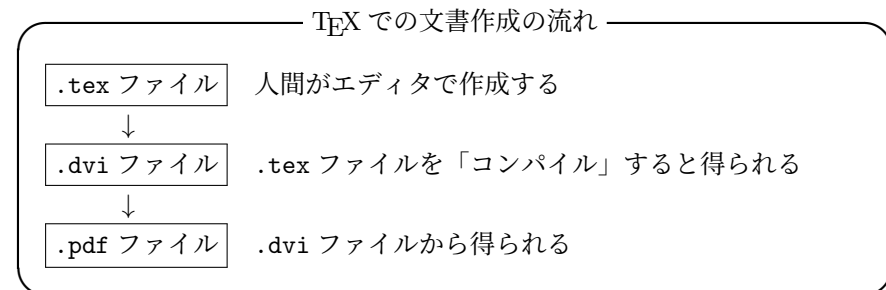
- (1) 書籍「[改訂第 7 版] L^AT_EX2_ε 美文書作成入門」(ISBN 978-4774187051) の付録 DVD-ROM からインストールする。Windows にも Macintosh にも対応。
- (2) 阿部紀行氏の Windows 用 TeX インストーラを利用する。
<https://www.ms.u-tokyo.ac.jp/~abenori/soft/index.html>
- (3) 角藤亮氏のサイト
<http://w32tex.org/index-ja.html> の Windows 用簡易インストーラを利用する。
- (4) Linux の場合 apt-get (synaptic) などを利用した簡単なインストール方法が用意されている。始めからインストールされていることも多い。

²⁹ ● どの OS や、どのコンピュータでも出力が同一。

● T_EX 方式の数式入力方法を採用するソフトウェアが多い。
● T_EX で書かれた本も多い。
● WYSIWYG (what you see is what you get. 画面のままの印刷が得られる) ではなく「パッチ式」であり、この点は HTML に近い。

§2 T_EX の使用方法

T_EX は Microsoft Word などとは異なり、入力から印刷までを単一のソフトウェアで行うわけではありません。Pdf ファイルで閲覧・印刷を行う場合、その過程は以下ようになります。



実際には、これらを統合する **TeXworks** というソフトウェアがインストールされており、複数のプログラムが動いていることは意識せずとも T_EX を利用できるようになっています。TeXworks を起動するには、デスクトップのアイコン (下の左図) をダブルクリックするか、なければスタートメニューから検索します。

図 16: texworks のアイコン

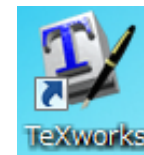
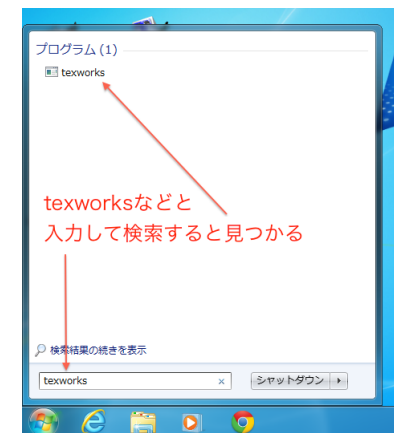


図 17: texworks を検索する



(2.1) **課題 51 – 最初の T_EX 文書** L^AT_EX2_ε の書式に従った最小の tex ファイルは次のようになります。バックスラッシュ (\) はキーボードの円記号 (¥) のキーを押すと入力でき、コンピュータの環境によっては画面上でも円記号です。

```
0000 和地-51.tex
1 \documentclass{jarticle}
2 \begin{document}
3 夏空と駆ける先には蝸牛
4 \end{document}
```

\documentclass{jarticle} は、「jarticle」という文書クラスで文書を作成するという命令です。用途に応じて次のような文書クラスがあります。

表 4: 文書クラス

用途	欧文	和文横書き	和文縦書き	新和文横書き
論文・レポート	article	jarticle	tarticle	jsarticle
長い報告書	report	jreport	treport	(ない)
本	book	jbook	tbook	jsbook

また、\documentclass[a4j,12pt]{jarticle} のように、**オプション**を1つ、またはカンマ区切りで複数個与えることができます³⁰。

\begin{document} ~ \end{document} は **document 環境**で、この中に書かれたものが出力されます。

次の作業の結果得られた pdf ファイルを提出して下さい。

- (1) 上の例の俳句を、自分で詠んだものに替えて 0000 和地-51.tex のようなファイル名で保存する。
- (2) コンパイルして pdf ファイルを作成し、0000 和地-51.pdf のようなファイル名の pdf ファイルを提出する。

³⁰ 例えば次のようなオプションが利用可能です。a4j, b5j: 用紙サイズの指定。無指定の時はやや余白の広い a4paper を指定したことになる。landscape: 用紙を横置きで使う指定。10pt, 11pt, 12pt: フォントのサイズの指定。twocolumn: 2 段組にする指定。

(2.2) **コメント** tex ファイル中で、パーセント記号 (%) から行末までは無視されます (改行も無視)。これは**コメント**と呼ばれ、出力はしたくないけれど、tex ファイル中に残しておきたいことなどを書けます。

入力

```
1 \documentclass{jarticle}
2 \begin{document}
3 夏空と駆ける先には蝸牛 % 字余り
4 \end{document}
```

出力

夏空と駆ける先には蝸牛

(2.3) **改行や空白文字の扱い** Microsoft Word では、改行したりスペースを入力すれば、その通りの画面表示と印刷結果になります。しかし、T_EX でこの扱いはこれとは異なり次のようになります。

- 行末が和文文字 (全角) の時、改行は無視される。
- 行末が欧文文字 (半角) の時、改行は空白 (半角スペース) と解釈される。
- 連続する空白 (半角スペース) は 1 つの空白と同等。
- 行頭や行末の空白 (半角スペース) は何個あっても無視される。
- 空白だけの行 (空行) は、段落の切れ目になる。

このように、半角スペースは良い組版をするため特別な扱いを受けますので、全角スペースで空白を空けることは必要でなければいけない方がよいです。

入力

```
1 \documentclass{jarticle}
2 \begin{document}
3 tex ファイルを書くときは、
4 適宜改行を入れて見易く整えるのが
```

```

5 習慣になっています。
6
7 She wore          a yellow ribbon.
8 \end{document}

```

出力

tex ファイルを書くときは、適宜改行を入れて見易く整えるのが習慣になっています。

She wore a yellow ribbon.

(2.4) **初めての命令** `\documentclass{jarticle}`のように\ (バックスラッシュ。環境によっては¥) の付いたものが $\text{\TeX}$ の命令です。例えば、 $\text{\TeX}$ という命令は、 $\text{\TeX}$ を出力します。末尾が英字や和字である命令の後の空白については、次の例のように注意が必要です。

入力

```

1 \documentclass{jarticle}
2 \begin{document}
3 \TeX is joyful. % 命令の後の空白は無視される
4 \TeX{} is joyful. % こうすればよい
5 {\TeX} is joyful. % あるいはこう
6 \end{document} % \TeX is joyful. だとどうなる?

```

出力

$\text{\TeX}$ is joyful. $\text{\TeX}$ is joyful. $\text{\TeX}$ is joyful.

反対に、 $\text{\TeX}$ の直後に空白なしに続けたいときに、

$\text{\TeX}$ の楽しみ % エラー

と入力すると「 $\text{\TeX}$ の楽しみ」までで 1 つの命令とみなされてエラーになります。

(2.5) **特殊文字** パーセント記号を出力したいとき、単に tex ファイルに書いてもコメントの始まりとみなされて出力されません。バックスラッシュ (円記号) などと同様で、このような**特殊文字**には以下のものがあります。

\$ % & _ { } \ ^ ~ < > |

これらのうちいくつかは、バックスラッシュを付加すると次のように出力できます。

入力

```

1 \documentclass{jarticle}
2 \begin{document}
3 \# \$ \% \& \_ \{ \}
4 \end{document}

```

出力

\$ % & _ { }

また別の方法として、入力をそのまま出力する `\verb` 命令を用いることもできます。`\verb|foo|`のように、任意に選んだ同じ文字 (ここでは |) で挟まれた部分をそのまま出力します。

入力

```

1 \documentclass{jarticle}
2 \begin{document}
3 \verb@ \@ \verb|$29 > $28|
4 \end{document}

```

出力

`\$29 > \$28`

また、`< > |` は後述の数式モードでは出力できます。

(2.6) **課題 52 – 特殊文字の出力** 次のような出力を与える `tex` ファイル (ファイル名は `0000 和地-52.tex` のように) を作り提出して下さい。ただし、わずかな (無害の) スペースの有無などにより、作成したファイルの出力結果と下の出力例を比べたときに、`TEX` が自動的に決定する行の折り返し位置が異なる場合がありますが、それは構いません。逆に、改行位置を下の出力例に合わせるために、無理な操作をするのは良くありません。全角スペースの利用は特に有害です。

出力

`TEX` で`%`を出力するためには`\%`と入力します。2つ目のパーセントは`\verb` 命令を使いました。

上の出力では、1つ目の`%`と2つ目の`%`は、`tex` ファイルでの記述が異なるため、書体が違うことにも注意して下さい。最初の `TEX` は、単に `TeX` と入力するわけではありません (少し前を見て下さい)。また、上の出力では掲載を省略していますが、用紙の下部にページ番号も出力されています。

§3 文書の構造

文書には、章があり、その中にいくつかの節 (セクション) があり、さらに、小節 (サブセクション) や段落を含むといった**論理構造**があります。他方、章の見出しは文字サイズを大きくし、節の見出しはそれより少し小さくし、また、これらの見出しは太字にするといった**物理構造 (レイアウト)**もあります。`TEX` では、論理構造の指定のみ行い、物理構造の指定は陽には行わないことが推奨されます。つまり、「文字サイズを大きくする」と指定するのでは

なく、「ここから節を始める」と指定します。どのような物理構造になるかは `jarticle` などの文書クラスによって決まります。

(3.1) **論理構造を指定する命令** `jarticle` クラスで論理構造を指定するには、主に次のような命令があります。ただし、段落については、**空行**を作れば段落の区切りになります。段落に見出しの必要がないときは、普通は`\paragraph` 命令を用いずに、空行で段落を作成します。

表 5: 論理構造を指定する命令

命令	意味	使用方法
<code>\section</code>	節	<code>\section{節の名前}</code>
<code>\subsection</code>	小節	<code>\subsection{小節の名前}</code>
<code>\subsubsection</code>	小小節	<code>\subsubsection{小小節の名前}</code>
<code>\paragraph</code>	見出し付き段落	<code>\paragraph{段落の名前}</code>
(空行)	段落	(空の行)

入力

```
1 \documentclass{jarticle}
2 \begin{document}
3
4 \section{論理構造を指定する命令}
5 \subsection{節と小節}
6
7 section命令で節、
8 subsection命令で小節の開始を指定します。
9
10 \subsection{段落}
11
12 単に空行を作るだけでも段落を開始できますが、
13 paragraph命令は見出し付き段落を開始します。
14
```

```

15 段落先頭のインデントは自動で付くため、
16 入力の必要はありません。
17 見出しの節番号も自動で付きます。
18 \end{document}

```

出力

1 論理構造を指定する命令

1.1 節と小節

section 命令で節、subsection 命令で小節の開始を指定します。

1.2 段落

単に空行を作るだけでも段落を開始できますが、paragraph 命令は見出し付き段落を開始します。

段落先頭のインデントは自動で付くため、入力の必要はありません。見出しの節番号も自動で付きます。

また、上の出力では掲載を省略していますが、用紙の下部にページ番号も出力されています。

(3.2) **物理構造を指定する命令 (下線、改ページ、改行)** T_EX では物理構造を陽に指定しないことが推奨されるものの、実際には文字サイズなどの物理構造を指定したいこともあります。

文章の一部に**下線**を引くこと、ページを改めること (**改ページ**)、行を改めること (**改行**) はどれも物理構造の指定ですが、次の命令で実現できます。

表 6: 下線、改ページ、改行

入力	出力
<code>\underline{下線}</code>	<u>下線</u>
<code>\newpage</code>	改ページする
<code>\\</code>	改行する

T_EX が自動的に決定する改行位置とは無関係に、強制的に改行したいとき `\\` 命令を使います。しかし、(数式などではない地の文で) 強制的に改行したいのは、人間の方が間違っていることが多いので、`\\` 命令は極力使わないようにします。

また、`\\[1cm]` のように後ろにブラケットがあると、囲まれた寸法だけ行を送ります。この命令も、微調整が必要な時にはやむを得ないこともあります。極力使わないようにします。`\\` の後にブラケットを書きたい場合は、こう解釈されないように、何もしない命令 `\relax` を用いて、`\\ \relax []` とするなどの注意が必要です。

場所が余ったので持統天皇



春過ぎて 夏来らし 白妙の 衣干したり 天香具山
(春過ぎて夏来にけらし白妙の 衣ほすてふ天の香具山)

(3.3) 物理構造を指定する命令 (文字サイズ、書体) 文字サイズも物理構造です。次の命令で文字サイズが変更できます。

表 7: 文字サイズ

命令	見本
<code>\tiny</code>	サイズ Sample
<code>\scriptsize</code>	サイズ Sample
<code>\footnotesize</code>	サイズ Sample
<code>\small</code>	サイズ Sample
<code>\normalsize</code>	サイズ Sample
<code>\large</code>	サイズ Sample
<code>\Large</code>	サイズ Sample
<code>\LARGE</code>	サイズ Sample
<code>\huge</code>	サイズ Sample
<code>\Huge</code>	サイズ Sample

サイズ変更の影響範囲を限定するためには、

`{\small 小さい}` 普通

のようにブレース (`{ }`) で囲みます。

入力

```
1 \documentclass{jarticle}
2 \begin{document}
3 {\small ここだけ小さい、}
4 普通の大きさ、
5 \large ここだけ大きい。
6
7 つもりだったが以降ずっと大きい。
8 \end{document}
```

出力

ここだけ小さい、普通の大きさ、ここだけ大きい、
つもりだったが以降ずっと大きい。

また、次の命令で文字の書体が変更できます。

表 8: 書体

入力	意味	出力
<code>\textrm{Roman}</code>	ローマン	Roman
<code>\textbf{Bold}</code>	ボールド	Bold
<code>\textit{Italic}</code>	イタリック	<i>Italic</i>
<code>\textsl{Slant}</code>	斜体	<i>Slant</i>
<code>\textsf{Sans Serif}</code>	サンセリフ	Sans Serif
<code>\texttt{Typewriter}</code>	タイプライター	Typewriter
<code>\textsc{Small Caps}</code>	スモールキャップス	SMALL CAPS
<code>\textgt{ゴシック体}</code>	ゴシック	ゴシック体

これらの命令は、上の `\small` などの命令とはブレースの付き方が違うことに注意が必要です。`\small` 命令のように、影響範囲を限定するためには、命令自身も含めてブレースで囲む必要のあるものを **small 型命令**、`\textrm` 命令や `\underline` 命令のように、命令の直後にブレースがなくてはならないものを **underline 型命令** と呼ぶことにします。

(3.4) 課題 53 – 文書の論理構造と物理構造 次のような出力を与える `tex` ファイル (ファイル名は 0000 和地-53.tex のように) を作り提出して下さい。

出力

1 節など

1.1 節・小節・段落

節を始めるには section 命令を使い、小節を始めるには subsection 命令を使います。

このように新しい段落を始めるためには、単に空行を作ればよいです。また、行の途中で改行もできます。

1.2 見出し付き段落

段落に見出しを付けたい ときは、paragraph 命令を使います。

見出し付き段落の例 この段落の上方直前の空きは、paragraph 命令を使うと自動的に付くものです。

2 文字サイズや書体

2.1 文字サイズ

例えば footnotesize 命令を使うと、小さい文字になります。

2.2 書体

例えば textsf 命令を使うと、read me!のような書体になります。太字で大きい文字サイズにしたいときは、textbf 命令と Large 命令を組み合わせると、**like this** のように出力されます。

上の出力では掲載を省略していますが、用紙の下部にページ番号も出力されています。ただし、 $\text{\TeX}$ が自動的に決定する行の折り返し位置が、無害な半角スペースなどで多少異なっても構いません。

§4 箇条書き

(4.1) **環境** `\begin{document} ... \end{document}` のように `\begin` と `\end` で囲まれた構造を**環境**と呼びます。document 環境の他にも、次の表のような環境があります。

表 9: 主な環境

環境名	意味
quote 環境	引用を行う。段落の先頭はインデントしない。
quotation 環境	引用を行う。段落の先頭をインデントする。
flushright 環境	右寄せする。
flushleft 環境	左寄せする。
center 環境	中央揃えする。

入力

```
1 \documentclass{jarticle}
2 \begin{document}
3
4 \begin{quotation}
5   引用します。インデントもします。
6 \end{quotation}
7
8 \begin{flushleft}
9   \Large 大きい字で左寄せ
10 \end{flushleft}
11
12 \begin{flushright}
13   右寄せ
14 \end{flushright}
15
16 \begin{center}
```



```

17 中央揃え
18 \end{center}
19
20 \end{document}

```

出力

引用します。インデントもします。

大きい字で左寄せ

右寄せ

中央揃え

上の例でわかるように、環境は{...}と同じように、\Large 命令の影響範囲を限定します。

(4.2) **箇条書き環境** 次のような、意味の異なる箇条書き環境があります。

表 10: 箇条書き環境

環境名	意味
itemize	番号の付かない箇条書き
enumerate	番号の付く箇条書き
description	見出しの付く箇条書き

これらの環境の本体では、\item 命令に続いて箇条書きする項目を書きます。また、description 環境では、\item[見出し] として見出しを指定します。itemize と enumerate 環境でもこうすると見出しを変更できます。

入力

```

1 \documentclass{jarticle}
2 \begin{document}

```

```

3
4 \begin{itemize}
5   \item かき氷とともに頬ばる日と思う
6   \item 向日葵を見上げる君の大き顔
7 \end{itemize}
8
9 \begin{enumerate}
10  \item 母の持つ砂場の蚯蚓に後ずさる
11  \item 炎天下滑りて昇りまた滑り
12 \end{enumerate}
13
14 \begin{description}
15  \item [仲夏] 逃げ惑い泣き疲れ蠅を夢に見る
16  \item [晩夏] 水風船親の心を子は知らず
17 \end{description}
18
19 \end{document}

```

出力

- かき氷とともに頬ばる日と思う
 - 向日葵を見上げる君の大き顔
1. 母の持つ砂場の蚯蚓に後ずさる
 2. 炎天下滑りて昇りまた滑り

仲夏 逃げ惑い泣き疲れ蠅を夢に見る

晩夏 水風船親の心を子は知らず

また、例えば、document 環境の中に itemize 環境を入れるなど、多くの場

合環境は入れ子にできます。

(4.3) **課題 54 – 箇条書きなどの環境** 次のような出力を与える tex ファイル (ファイル名は 0000 和地-54.tex のように) を作り提出して下さい。ただし、T_EX が自動的に決定する行の折り返し位置が、無害な半角スペースなどで多少異なっていても構いません。また、下の出力では掲載を省略していますが、用紙の下部にページ番号も出力されています。

出力

本日のまとめ

0000 和地輝仁

上のタイトルは Large の大きさです。今日学んだ環境をまとめると以下のようになります。

引用 quote, quotation

寄せ・揃え flushleft, flushright, center

箇条書き itemize, enumerate, description

このうち、番号付きの箇条書きの例は下のようになります。

1. itemize 環境は番号なし
2. enumerate 環境は番号付き
3. description 環境は見出し付き

§5 表組み

(5.1) **tabular 環境** 表組みは tabular 環境で行います。

tabular 環境の文法

```
\begin{tabular}{列指定}
  表本体
\end{tabular}
```

列指定には、1 列につき、l (左寄せ)、c (中央揃え)、r (右寄せ) のどれかを 1 文字指定します。これらの各文字の前後に | (縦罫線) が指定できます。

表本体において、列の区切りは &、行の終わりは \\ で表します。行の先頭に \hline を書くと横罫線が引かれ、\cline{2-3} のように書くと部分的な横罫線 (この場合 2 から 3 列目まで) が引かれます。

横方向にコマを連結したいときは、\multicolumn{連結するコマ数}{列指定}{コマの内容} を用います。

入力

```
1 \documentclass{jarticle}
2 \begin{document}
3 \begin{tabular}{|l|c|rr|}
4 \hline \multicolumn{4}{|c|}{りんごの表} \\
5 \hline
6 \hline      品名      & サイズ & 単価 & 数量 \\
7 \hline      りんご  & 大きい & 180  & 15 \\
8 \cline{2-4}      & ミニ   & 90   & 8 \\
9 \hline
10 \end{tabular}
11 \end{document}
```

出力

りんごの表			
品名	サイズ	単価	数量
りんご	大きい	180	15
	ミニ	90	8

(5.2) **課題 55 – 表組み** 次のような出力を与える tex ファイル (ファイル名は 0000 和地-55.tex のように) を作り提出して下さい。下の出力では掲載を省略していますが、用紙の下部にページ番号も出力されています。

出力

tabular 環境のまとめ		
列指定	揃え	l, c, r
	縦罫線	
表本体	列区切り	&
	改行	\\
	横罫線	\hline, \cline
	コマの連結	\multicolumn

§6 数式

(6.1) **インライン数式と別行立て数式** 数式モード³¹には次の 2 つがあり、1 つの数式には**一方のみ**を使います。

- インライン数式: $\$ \cdots \$$
- 別行立て数式: $\backslash[\cdots \backslash]$

つまり、

$\$ \backslash[y = -2x - 1 \backslash] \$$ (これは間違い)

のような使い方はしません。

入力

```
1 \documentclass{jarticle}
2 \begin{document}
3 テキストモードだと、
```

³¹ 今まで使っていた、数式ではないモードは、**テキストモード**と呼ばれます。

```
4 a = -2x - 1 という出力になってしまいますが、
5 ドルで囲んでインライン数式モードにすると、
6 $a = -2x - 1$ となります。
7 また、
8 \[ a = -2x - 1 \]
9 とすると別行立て数式になります。
10 \end{document}
```

出力

テキストモードだと、 $a = -2x - 1$ という出力になってしまいますが、ドルで囲んでインライン数式モードにすると、 $a = -2x - 1$ となります。また、

$$a = -2x - 1$$

とすると別行立て数式になります。

後述の amsmath パッケージには、他にも便利な別行立て数式の環境があります³²。

(6.2) **累乗、添字** 上付きの**累乗**は「^」(Enter キーの左上辺りのキー)、下付きの**添字**には「_」(右 Shift の隣のキー)を用います。累乗や添字が 1 文字でない場合は、 $\{ \cdots \}$ で**グループ化**します。累乗や添字も入れ子にできます。

入力	出力
$e^x + e^{-x}$	$e^x + e^{-x}$
$a_1^{b_1} + a_2^{b_2}$	$a_1^{b_1} + a_2^{b_2}$

³² amsmath パッケージを使う方がおすすめです。複数行に渡る数式や、それらをイコールの位置で揃えたいとか、数式に番号を付けたいときは、多くの改善が施された amsmath パッケージを必ず使って下さい。

(6.3) **点** 1つの点や複数の点を出力する以下のような命令があります。すべて数式モードでのみ使えます。これらを用いると前後の空白を自動調節してくれるので、全角の「・」や「…」で代用すべきではありません。

`\ldots` と `\cdots` の使い分けは、下の表にあるものが正当とする考えが普通ですが、日本の高校までの教科書に見られるように、すべて `\cdots` で済ませる場合もあります。

表 11: 点

入力	意味	出力	使用例
<code>\cdot</code>	掛け算記号の点など	·	$a \cdot b$
<code>\cdots</code>	長い演算の途中の省略	⋯	$a + b + \cdots + z$
<code>\ldots</code>	長い列挙の途中の省略	⋯	$a, b, \ldots, z$
<code>\vdots</code>	縦方向の省略	⋮	
<code>\ddots</code>	斜め方向の省略	⋱	

(6.4) **根号** 「`\sqrt{根号の中身}`」でルートの記号を出力できます。3乗根などを出力する場合は、「`\sqrt[3]{根号の中身}`」のようにします。

入力	出力
<code>\sqrt{x^2+1}</code>	$\sqrt{x^2+1}$
<code>\sqrt[3]{a_1 + a_2}</code>	$\sqrt[3]{a_1 + a_2}$

(6.5) **分数** 「`\frac{分子}{分母}`」で分数を出力できます。入れ子にすれば繁分数も可能です。この命令は、インライン数式と別行立て数式で文字の大きさなどが異なります。

入力	出力 (インライン)	出力 (別行立て)
<code>\frac{1}{2}</code>	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$
<code>\frac{1+x}{\sqrt{1+x^2}}</code>	$\frac{1+x}{\sqrt{1+x^2}}$	$\frac{1+x}{\sqrt{1+x^2}}$
<code>1+\frac{2}{3+\frac{4}{5}}</code>	$1 + \frac{2}{3+\frac{4}{5}}$	$1 + \frac{2}{3+\frac{4}{5}}$

(6.6) **シグマ記号** 和のシグマ記号は「`\sum`」で出力します。「`_`」と「`^`」で、パラメータの動く範囲を書くことができます。この命令は、インライン数式と別行立て数式で記号の大きさや、範囲の付く場所が異なります。

入力	出力 (インライン)	出力 (別行立て)
<code>\sum_{k=1}^n k^2</code>	$\sum_{k=1}^n k^2$	$\sum_{k=1}^n k^2$

またシグマ記号と同様の振舞いをする大型演算子には以下のようなものがあります。

表 12: 大型演算子

入力	出力	入力	出力	入力	出力
<code>\prod</code>	∏	<code>\bigcap</code>	∩	<code>\bigcup</code>	∪

(6.7) **積分記号** 積分記号は「`\int`」です。積分の上端・下端は「`^`」と「`_`」で指定します。この命令は、インライン数式と別行立て数式で記号の大きさや、範囲の付く場所が異なります。

また、そのままだと被積分関数と「 dx 」などの間が詰まりすぎるので、少しの空白を空ける命令「`\,`」を挿入するのが適当です。

入力	出力 (インライン)	出力 (別行立て)
<code>\int x dx % 詰まりすぎ</code>	$\int x dx$	$\int x dx$
<code>\int x \, dx</code>	$\int x dx$	$\int x dx$
<code>\int_0^{10} \sqrt{x} \, dx</code>	$\int_0^{10} \sqrt{x} dx$	$\int_0^{10} \sqrt{x} dx$

こういった数式は、`$` で囲んだり (インライン)、`\[...]` で囲んだり (別行立て) して記述しますが、多くの項があるなど長く複雑な数式であっても、ひと続きの数式はその全体を `$` や `\[...]` で囲み、全体を 1 つの数式モードとします。

(6.8) **課題 56 – 数式その 1** 次のような出力を与える tex ファイル (ファイル名は 0000 和地-56.tex のように) を作り提出して下さい。

出力

r が 1 ではないとき、等比数列の和の公式は、

$$a + ar + ar^2 + \cdots + ar^{n-1} = \sum_{k=0}^{n-1} ar^k = \frac{a(1-r^n)}{1-r}$$

である。また、 $\frac{1}{\sqrt{x}}$ の不定積分は次のようになる。

$$\int \frac{1}{\sqrt{x}} dx = \int x^{-\frac{1}{2}} dx = -2x^{\frac{1}{2}} + C = -2\sqrt{x} + C$$

(6.9) **log 型関数** 対数関数を「`$\log x$`」と入力してしまうと、「 $\log x$ 」となります。しかし、数学の習慣では $\log$ 等のできあいの関数名は斜体ではなくローマン体で書きます。また、 x の前に適切な空きありませんから、決してこうしないで下さい。

正しくは「`\log`」命令を使い、「`$\log x$`」とします。主な $\log$ 型の関数を以下に記します。

表 13: $\log$ 型関数

入力	出力	入力	出力	入力	出力
<code>\log x</code>	$\log x$	<code>\arg x</code>	$\arg x$	<code>\exp x</code>	$\exp x$
<code>\sin x</code>	$\sin x$	<code>\deg x</code>	$\deg x$	<code>\lim x</code>	$\lim x$
<code>\cos x</code>	$\cos x$	<code>\det x</code>	$\det x$	<code>\max x</code>	$\max x$
<code>\tan x</code>	$\tan x$	<code>\dim x</code>	$\dim x$	<code>\min x</code>	$\min x$

シグマ記号と同様に「`^`」や「`_`」を用いると、上限、下限の数式を添えられますが、関数によって、あるいは、インラインか別行立てかによって上限、下限の付く場所が異なります。

入力	出力 (インライン)	出力 (別行立て)
<code>\log_a x</code>	$\log_a x$	$\log_a x$
<code>\lim_{n \rightarrow \infty} a_n</code>	$\lim_{n \rightarrow \infty} a_n$	$\lim_{n \rightarrow \infty} a_n$

`\to` と `\infty` は、それぞれ矢印と無限大の記号を出力する命令です。

(6.10) **mod** `mod` には、使い方に合わせて 2 通りの命令があります。

入力	出力
<code>x \bmod 3</code>	$x \bmod 3$
<code>x \equiv 4 \pmod{3}</code>	$x \equiv 4 \pmod{3}$

(6.11) **賢いカッコ** 分数など縦に大きな数式に合わせて、かっこを自動的に伸縮できます。開きかっこは「`\left(`」、閉じかっこは「`\right)`」とすると、その間の数式の高さに合わせてかっこが伸縮します。「`{ }`」や「`[ ]`」など他のかっかも「`\left`、`\right`」をつけると伸縮します。ただし、ブレースは特殊文字なので、`\left{` ではなく `\left\{` と、バックスラッシュを前置します。また、左右の片方だけにかっこを出力したいときは、「`\left.`」の

ように、出力しないかっこの代わりにピリオドを用います。以下では別行立て数式の出力のみ掲げます。

入力	出力 (別行立て)
<code>\{ \frac{1}{2}, \frac{3}{4} \}</code> % 不釣り合い	$\left\{ \frac{1}{2}, \frac{3}{4} \right\}$
<code>\left\{ \frac{1}{2}, \frac{3}{4} \right\}</code>	$\left\{ \frac{1}{2}, \frac{3}{4} \right\}$
<code>\left(\frac{1}{2} \right)</code>	$\left(\frac{1}{2} \right)$
<code>\left[\frac{1}{2} \right]</code>	$\left[\frac{1}{2} \right]$

(6.12) **数式の表組み** 地の文では tabular 環境を用いて表組みしましたが、数式モードでは array 環境を用います。列指定などは tabular 環境のときと同じです。

入力

```

1 \[
2   \left(
3     \begin{array}{cc}
4       1 & 2 \\
5       3 & 4
6     \end{array}
7   \right),
8   \left\{
9     \begin{array}{l}
10      2x + 3y = 5 \\
11      x - 6y = -5
12    \end{array}
13  \right.

```

14 `\]`

上の入力において、見易さのためには空行を用いたのですが、別行立て数式では、空行を用いることはできません (エラーになります)。

出力

$$\begin{pmatrix} 1 & 2 \\ 3 & 4 \end{pmatrix}, \begin{cases} 2x + 3y = 5 \\ x - 6y = -5 \end{cases}$$

ただし、行列や連立方程式は、後述の amsmath パッケージを使う方がすっきりと書けます³³。

(6.13) **上下に付けるもの** 数式モードだけで使えるアクセント記号には、主に以下のものがあります。

表 14: 上に付けるもの

入力	出力	入力	出力
<code>\hat{a}</code>	$\hat{a}$	<code>\tilde{a}</code>	$\tilde{a}$
<code>\bar{a}</code>	$\bar{a}$	<code>\vec{a}</code>	$\vec{a}$

以下のものは、数式の長さに応じて伸縮します。

表 15: 上に付ける伸縮するもの

入力	出力	入力	出力
<code>\overline{a+b}</code>	$\overline{a+b}$	<code>\underline{a+b}</code>	$\underline{a+b}$
<code>\widehat{a+b}</code>	$\widehat{a+b}$	<code>\widetilde{a+b}</code>	$\widetilde{a+b}$
<code>\overbrace{a+b}</code>	$\overbrace{a+b}$	<code>\underbrace{a+b}</code>	$\underbrace{a+b}$
<code>\overleftarrow{a+b}</code>	$\overleftarrow{a+b}$	<code>\overrightarrow{a+b}</code>	$\overrightarrow{a+b}$

³³ 必ず amsmath パッケージを使って下さい。

`\overbrace` と `\underbrace` は、上限・下限が真上・真下に付きます。

表 16: 上下に付く括弧

入力	出力
<code>\overbrace{a+\cdots+z}^{26}</code>	$\overbrace{a+\cdots+z}^{26}$
<code>\underbrace{a+\cdots+z}_{26}</code>	$\underbrace{a+\cdots+z}_{26}$

(6.14) **その他の記号** これまでに紹介したもの以外にも、記号を出力する命令が大量に定義されています。主なものを以下に記します。

表 17: 矢印

入力	出力	入力	出力
<code>\leftarrow</code>	$\leftarrow$	<code>\rightarrow</code>	$\rightarrow$
<code>\uparrow</code>	$\uparrow$	<code>\downarrow</code>	$\downarrow$
<code>\updownarrow</code>	$\updownarrow$	<code>\leftrightharpoonup</code>	$\leftrightharpoonup$
<code>\Leftarrow</code>	$\Leftarrow$	<code>\Rightarrow</code>	$\Rightarrow$
<code>\Uparrow</code>	$\Uparrow$	<code>\Downarrow</code>	$\Downarrow$
<code>\Updownarrow</code>	$\Updownarrow$	<code>\Leftrightarrow</code>	$\Leftrightarrow$
<code>\nearrow</code>	$\nearrow$	<code>\swarrow</code>	$\swarrow$
<code>\searrow</code>	$\searrow$	<code>\nwarrow</code>	$\nwarrow$

表 18: ギリシア文字

入力	出力	入力	出力	入力	出力
<code>\alpha</code>	α	<code>\beta</code>	β	<code>\gamma</code>	γ

入力	出力	入力	出力	入力	出力
<code>\delta</code>	δ	<code>\epsilon</code>	ϵ	<code>\zeta</code>	ζ
<code>\eta</code>	η	<code>\theta</code>	θ	<code>\iota</code>	ι
<code>\kappa</code>	κ	<code>\lambda</code>	λ	<code>\mu</code>	μ
<code>\nu</code>	ν	<code>\xi</code>	ξ	<code>\omicron</code>	$\omicron$
<code>\pi</code>	π	<code>\rho</code>	ρ	<code>\sigma</code>	σ
<code>\tau</code>	τ	<code>\upsilon</code>	υ	<code>\phi</code>	ϕ
<code>\chi</code>	χ	<code>\psi</code>	ψ	<code>\omega</code>	ω
<code>\varepsilon</code>	ε	<code>\varphi</code>	φ		
<code>\Gamma</code>	Γ	<code>\Delta</code>	Δ	<code>\Theta</code>	Θ
<code>\Lambda</code>	Λ	<code>\Xi</code>	Ξ	<code>\Pi</code>	Π
<code>\Sigma</code>	Σ	<code>\Upsilon</code>	Υ	<code>\Phi</code>	Φ
<code>\Psi</code>	Ψ	<code>\Omega</code>	Ω		

表 19: 二項演算子

入力	出力	入力	出力	入力	出力	入力	出力
<code>\pm</code>	$\pm$	<code>\mp</code>	$\mp$	<code>\times</code>	$\times$	<code>\div</code>	$\div$
<code>\circ</code>	$\circ$	<code>\cap</code>	$\cap$	<code>\cup</code>	$\cup$		

表 20: 関係演算子

入力	出力	入力	出力	入力	出力	入力	出力
<code><</code>	$<$	<code>\subset</code>	$\subset$	<code>\in</code>	$\in$	<code>\equiv</code>	$\equiv$
<code>></code>	$>$	<code>\supset</code>	$\supset$	<code>\ni</code>	$\ni$	<code>\cong</code>	$\cong$
<code>\le</code>	$\leq$	<code>\subseteq</code>	$\subseteq$	<code>\notin</code>	$\notin$	<code>\sim</code>	$\sim$
<code>\ge</code>	$\geq$	<code>\supseteq</code>	$\supseteq$	<code>\neq</code>	$\neq$	<code>\perp</code>	$\perp$

上の表で、`\le` と `\ge` は、less than or equal to や greater than or equal to が由来です。

表 21: その他

入力	出力	入力	出力	入力	出力
<code>\infty</code>	∞	<code>\partial</code>	∂	<code>\ell</code>	ℓ

(6.15) **課題 57 – 数式その 2** 次のような出力を与える tex ファイル (ファイル名は 0000 和地-57.tex のように) を作り提出して下さい。

出力

$0^\circ \leq \theta < 180^\circ$ とすると $\sin \theta \geq 0$ だから、 $\sin \theta = \sqrt{1 - \cos^2 \theta}$ である。また、 $a, b \in \{3n + 1 \mid n = 1, 2, \dots\}$ のとき、 $a + b \equiv 2 \pmod{3}$ である。

$$\lim_{n \rightarrow \infty} \left(1 + \frac{1}{n}\right)^n = e.$$

(6.16) **行列、行列式** 行列を記述する、より簡単な方法があります。`\left(`、`\right)` と `array` 環境の組合せによる記述と比較すると、はるかに簡潔であることがわかります。

入力

```

1 \documentclass{jarticle}
2 \usepackage{amsmath}
3 \begin{document}
4 \[
5   \begin{pmatrix}
6     1 & 2 & 3 \\
7     4 & 5 & 6
8   \end{pmatrix},
9   \begin{vmatrix}
10    a & b \\
11    c & d
12  \end{vmatrix}

```

```

13 \]
14 \end{document}

```

出力

$$\begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 \\ 4 & 5 & 6 \end{pmatrix}, \begin{vmatrix} a & b \\ c & d \end{vmatrix}$$

`pmatrix` 環境は上の例のように使用しますが、`\begin{document}`の前に `\usepackage{amsmath}` と記述して、`amsmath` パッケージを読み込む必要があります。後述のように `amsmath` パッケージには、他にも便利な数式の命令が多数定義されています。

また、`vmatrix` 環境は行列式のための環境です。

(6.17) **場合分けのある数式** 連立方程式や場合分けを記述するための `cases` 環境が、`amsmath` パッケージに定義されています。`\left\{`、`\right.` と `array` 環境の組み合わせによる記述と比較して下さい。

入力

```

1 \documentclass{jarticle}
2 \usepackage{amsmath}
3 \begin{document}
4 \[
5   \begin{cases}
6     2x + 3y = 5 \\
7     x - 6y = -5
8   \end{cases}
9 \]
10 \end{document}

```


出力

$$\begin{cases} 2x + 3y = 5 \\ x - 6y = -5 \end{cases}$$

(6.18) **複数行の別行立て数式** 長い式変形や複数行の別行立て数式のための環境が、いくつか `amsmath` パッケージに定義されています。これまでに学んだものと合わせてまとめると、次のようになります。再び注意ですが、1つの数式には**これらの1つのみ**を使います。

- インライン数式: $\$ \cdots \$$
- 別行立て数式: $\backslash[\cdots \backslash]$
- 複数行で揃えのある別行立て数式: `\begin{align} \cdots \end{align}`
- 複数行で中央揃えの別行立て数式: `\begin{gather} \cdots \end{gather}`

つまり、

`\[ \begin{align} y = -2x - 1 \end{align} \]` (間違い)

のような使い方はしません (最初の `\[` と最後の `\]` が余分です)。

入力

```

1 \documentclass{jarticle}
2 \usepackage{amsmath}
3 \begin{document}
4 \begin{gather}
5   x^2+x+1 = 1 \\
6   y = 2
7 \end{gather}
8 \begin{align*}
9   f(x) &= x^2+x+1 \\
10  y &= 2

```

```

11 \end{align*}
12 \begin{align}
13   (\sqrt{x})', \\
14   &= (x^{\frac{1}{2}})', \\
15   &= \frac{1}{2} x^{-\frac{1}{2}} \\
16   &= \frac{1}{2\sqrt{x}}
17 \end{align}
18 \end{document}

```

出力

$$x^2 + x + 1 = 1 \quad (1)$$

$$y = 2 \quad (2)$$

$$f(x) = x^2 + x + 1$$

$$y = 2$$

$$(\sqrt{x})' = (x^{\frac{1}{2}})' \quad (3)$$

$$= \frac{1}{2} x^{-\frac{1}{2}} \quad (4)$$

$$= \frac{1}{2\sqrt{x}} \quad (5)$$

`gather` 環境は中央揃え、`align` 環境は&の位置で揃えられます。こういった数式の揃えは `amsmath` パッケージを使わなくても可能ではありますが、`amsmath` パッケージを利用するのが一番良い方法です。`gather`, `align` 環境とも数式番号が表示されます。これは*が付加されると抑制されます。また、`align` 環境や `gather` 環境で複数行を別行立てにすると、一部の行の数式番号を表示させない場合は、その行に `\nonumber` 命令を置きます。

(6.19) **課題 58 – 数式その 3** 次のような出力を与える tex ファイル (ファイル名は 0000 和地-58.tex のように) を作り提出して下さい。

出力

$$\begin{array}{ccc|ccc} 1 & 3 & 2 & 1 & 3 & 2 \\ 3 & 4 & 5 & 0 & -5 & -1 \\ 1 & -1 & 3 & 0 & -4 & 1 \end{array} = \begin{array}{cc} -5 & -1 \\ -4 & 1 \end{array} = -5 \cdot 1 - (-1) \cdot (-4) = -9$$

```

9 \end{align}
10
11 \section{相互参照}
12 \label{sec:sogo-sansho}
13
14 \subsection{節番号やページ番号}
15 \label{subsec:setsu-page}
16 ここは、第\ref{sec:sogo-sansho}節の
17 \ref{subsec:setsu-page}です。
18 式(\ref{eq:parab})は
19 \pageref{subsec:setsu-page}ページにあります。
20
21 \end{document}

```

§7 相互参照・目次 (・索引)

(7.1) **相互参照** 「第 7 節を参照のこと」とか、「39 ページにある式 (2) により」のように節などの番号を文中に記述したいとき、じかに「38 ページ」のように書くと、原稿の修正でページがずれたときや、節を新たに挿入したときに手作業ですべて直す必要があります。`\label`, `\ref`, `\pageref` の命令を使うと、 $\text{\TeX}$ が自動的に番号を適切に決定してくれます。

入力

```

1 \documentclass{jarticle}
2 \usepackage{amsmath}
3 \begin{document}
4
5 \section{目次と索引}
6 \begin{align}
7   \label{eq:parab}
8   y = x^2

```

出力

1 目次と索引

$$y = x^2 \tag{1}$$

2 相互参照

2.1 節番号やページ番号

ここは、第 2 節の 2.1 です。式 (1) は 1 ページにあります。

`align` 環境の他にも、`gather` 環境のように式番号の付く環境では、相互参照が可能です。

(7.2) **課題 59 – 相互参照** $\text{\TeX}$ の相互参照の機能を用いて、次のような出力を与える $\text{\textrm{tex}}$ ファイル (ファイル名は 0000 和地-59.tex のように) を作り提出して下さい。

出力

1 解と係数の関係

$x^2 - x + 1 = 0$ の 2 つの解を α, β とすると、

$$\alpha\beta = 1, \quad \alpha + \beta = 1 \quad (1)$$

であるから、

$$\alpha^2 + \beta^2 = (\alpha + \beta)^2 - 2\alpha\beta \quad (2)$$

$$= 1 - 2 \cdot 1 \quad (3)$$

$$= -1 \quad (4)$$

である。

2 補足

第 1 節の (2) 式から (3) 式への変形では (1) 式を用いた。

2 つ目の別行立て数式では、 $\text{\texttt{align}}$ 環境を用います。また 1 つ目の別行立て数式の、2 つの式の間の空白は、 $\text{\texttt{\quad}}$ 命令で空けます。これは以前用いた $\text{\texttt{\backslash}}$ 命令よりも広い空きを作ります。

(7.3) **目次** $\text{\texttt{\tableofcontents}}$ 命令を書くと、そこに目次が作成されます。

入力

```
1 \documentclass{jarticle}
2 \begin{document}
```

```
3 \tableofcontents
4 \section{目次と索引}
5 最初の節
6 \section{相互参照}
7 次の節
8 \subsection{節番号やページ番号}
9 いろいろ書く。
10 \end{document}
```

出力

目次

1	目次と索引	1
2	相互参照	1
2.1	節番号やページ番号	1

1 目次と索引

最初の節

2 相互参照

次の節

2.1 節番号やページ番号

いろいろ書く。

§8 画像

(8.1) **画像の挿入** ここでは、Windows の texworks を用いている場合に、画像ファイルを表示させることを説明します。以下では、JPEG 画像ファイル (拡張子は .jpg, .jpeg) の場合を説明しますが、他に PNG, BMP, PDF, EPS 形式などの画像ファイルも同じ方法で表示できます³⁴。

T_EX の文書に画像を挿入するには、graphicx パッケージが必要です (スペル注意)。pdf ファイルを作成するときには、dvipdfmx オプションが必要です。また、画像サイズを高精度で認識させるため hiresbb オプションを指定することができます。

graphicx パッケージを読み込む文法

```
\usepackage[dvipdfmx,hiresbb]{graphicx}
```

上のようにパッケージにオプションを指定して読み込むときは、複数のパッケージを同時に `\usepackage[dvipdfmx,hiresbb]{graphicx,amsmath}` と読み込むことはできません。`\usepackage` 命令を 2 度書いて別々にパッケージを読み込みます。

画像を表示させるには、表示させる場所で `\includegraphics` 命令を用います。画像の拡大縮小をする `scale` オプションが指定できます。下の 2 つ目は画像を 1.2 倍に拡大するオプションを指定した例です。

includegraphics 命令の文法 (2 つ目は伸縮する場合)

```
\includegraphics{画像ファイル名}
\includegraphics[scale=1.2]{画像ファイル名}
```

入力

```
1 \documentclass{jarticle}
```

³⁴ textworks 以外の処理系を用いて JPEG, PNG, BMP, PDF 形式の画像を表示させる場合、拡張子が .xbb であるファイルを準備する必要があります。このファイルには画像のサイズが記録してあります。texworks では、コンパイルすると、必要な場合は .xbb ファイルを自動的に生成しており、ソースファイルを保存してあるフォルダを見ると .xbb ファイルがあるのが確認できます。

```
2 \usepackage[dvipdfmx,hiresbb]{graphicx}
3 \begin{document}
4 原寸。
5 \includegraphics{streetcar.jpg}
6 \vspace{1cm}
7
8 0.2 倍に縮小。
9 \includegraphics[scale=0.2]{streetcar.jpg}
10 \end{document}
```

出力



(8.2) 課題 60 – 画像の挿入 次のような出力を与える tex ファイル (ファイル名は 0000 和地-60.tex のように) を作り提出して下さい。画像ファイルは、fig60a.pdf と fig60b.pdf を用いて下さい。また、画像をそのままのサイズで表示すると出力が 1 ページに収まらないので、適切に縮小して出力を 1 ページに収めて下さい。

出力

1 調和級数

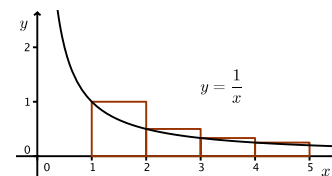
1.1 で調和級数が発散することを証明し、1.2 では、調和級数が $\log n$ のオーダーであることを証明する。

1.1 調和級数の発散

ここでは $y = \frac{1}{x}$ のグラフの下側の面積との比較をして証明する。下図より、

$$1 + \frac{1}{2} + \cdots + \frac{1}{n} \geq \int_1^{n+1} \frac{dx}{x} = \log(n+1) \quad (1)$$

である。 $n \rightarrow \infty$ とすると、調和級数が無限大に発散することがわかる。



1.2 調和級数が $\log n$ オーダーであること

正整数 n に対して、

$$A_n = 1 + \frac{1}{2} + \cdots + \frac{1}{n} - \log n,$$

と置き、数列 $\{A_n\}$ が収束することを示す。(1) 式より、

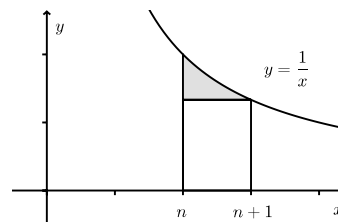
$$1 + \frac{1}{2} + \cdots + \frac{1}{n} - \log n \geq \log(n+1) - \log n,$$

$$A_n \geq \log \frac{n+1}{n}$$

となる。 $(n+1)/n > 1$ だから、 $A_n > 0$ 、つまり、数列 $\{A_n\}$ は下に有界である。また、

$$A_n - A_{n+1} = \log(n+1) - \log n - \frac{1}{n+1} = \int_n^{n+1} \frac{dx}{x} - \frac{1}{n+1}.$$

これは、下図の網掛け部分の面積であるから、 $A_n - A_{n+1} > 0$ 、つまり A_n は単調減少である。以上より、 A_n は収束する。



§9 マクロ

(9.1) **マクロ定義** 一連の命令を組み合わせて自前の命令を作ることができます。TeX では自前の命令を**マクロ**と呼びます。

マクロ定義の文法

`\newcommand{\命令の名前}{命令の内容}`

`\newcommand` 命令は、プリアンブル (`\documentclass` のよりも後で、`\begin{document}` の前の部分) でも、本文でも用いることができますが、マクロ定義は、例えばプリアンブルにまとめると見易いでしょう。

下の例では、中央揃え、`\Large` の大きさ、ゴシック体で俳句を表示するマクロ `\haiku` を定義して、2 度使っています。

入力

```

1 \documentclass{jarticle}
2
3 \newcommand{\haiku}{
4   \begin{center}
5     \textgt{\Large かき氷削り機を逃し夏終わる}
6   \end{center}
7 }
8
9 \begin{document}
10 ここで1句、\haiku
11 そして1句、\haiku
12 \end{document}
```

出力

ここで1句、

かき氷削り機を逃し夏終わる

そして1句、

かき氷削り機を逃し夏終わる

マクロの名前は、`\Meirei` のように半角アルファベット (大文字、小文字は区別されます) や、`\命令なり` のように和字が使えます。数字や記号は使える場合もありますが、必要がなければ用いない方がよいでしょう。

(9.2) **引数付きのマクロ定義** 上の例では、毎回同じ出力になりますが、マクロに引数を与えてマクロの実行ごとに異なる出力にすることも可能です。

引数付きマクロ定義の文法

`\newcommand{\命令の名前}[引数の個数]{命令の内容}`

引数の個数は9個が最大です。「命令の内容」の所で、`#1`, `#2`, ... とすると、1, 2, ... 番目の引数を参照します。

入力

```

1 \documentclass{jarticle}
2
3 \newcommand{\Haiku}[2]{
4   \begin{center}
5     \textgt{\Large #1や、ああ#1や、#1や}
6   \end{center}
7   \begin{flushright} #2 \end{flushright}
8 }
9
10 \begin{document}
11 ここで1句、\Haiku{松島}{松尾芭蕉ではないらしい}
```

```

12 そして1句、\Haiku{もろへい}{野菜の王様}
13 \end{document}

```

出力

ここで1句、

松島や、ああ松島や、松島や

松尾芭蕉ではないらしい

そして1句、

もろへいや、ああもろへいや、もろへいや

野菜の王様

場所が余ったので在原業平



ちはやぶる 神代もきかず 竜田川 からくれなゐに 水くゝるとは

(9.3) 課題 61[#] – マクロ (義務ではない) 次のような出力を与える tex ファイル (ファイル名は 0000 和地-61.tex のように) を作り提出して下さい。

出力

まず1人目の俳句です。



ふきのとうひまわりよりも背高く

みずすまし

なかなか良いですね。では2人目の俳句はこちら。



きりぎりすひまわりよりも背高く

たかあしがに

ではまた来週。投稿の宛先はこちらです。

ただし、俳句の部分は、画像、俳句 (`\Large` の大きさ)、作者を出力するマクロを定義し、それを用いて出力して下さい。そのマクロは、初句と作者を引数で与えるように定義して下さい。画像ファイルは `himawari.jpg` ですが、適当なサイズに縮小して使って下さい³⁵。

³⁵`himawari.jpg` は郵便局ホームページのフリーイラスト集より

§10 練習問題

(10.1) 課題 62[#] – 数式 (義務ではない) 簡条書き環境では、`\item [(1)]` とすると見出しを変更できます。

出力

定理 G を有限群とする。

- (1) G の既約表現の同値類の個数は、有限であり、 G の共役類の個数に等しい。
- (2) 既約指標は次の直交関係を満たす:

$$\sum_{g \in G} \chi(g) \eta(g^{-1}) = \begin{cases} \#G & (\chi = \eta \text{ のとき}), \\ 0 & (\chi \neq \eta \text{ のとき}). \end{cases}$$

$$\sum_{\lambda \in \hat{G}} \chi_{\lambda}(g) \chi_{\lambda}(h^{-1}) = \begin{cases} \#G / \#C_g & (g \text{ と } h \text{ が共役であるとき}), \\ 0 & (g \text{ と } h \text{ が共役でないとき}). \end{cases}$$

ここで、 C_g は g を含む G の共役類である。特に、 $\lambda \in \hat{G}$ に属する既約表現の次元を d_{λ} とすると、

$$\sum_{\lambda \in \hat{G}} d_{\lambda}^2 = \#G.$$

となる。

上の例だと、cases 環境の内部に日本語を書いています。そのように数式中にテキストを書くために、一時的にテキストモードにする命令として `\text` 命令があります³⁶。使うためには `\usepackage{amsmath}` することが必要で、`\text{({$g$ と $h$ が共役であるとき})}` のように使います。くれぐれも、数式モードで全角文字を直接記述しないよう、注意して下さい。

³⁶代わりに `mbox` 命令を使うこともできます。

(10.2) 課題 63[#] – 数式 (義務ではない) $\lfloor n/2 \rfloor$ の括弧の記号は、`\lfloor`、`\rfloor` で出力できます。また、転置行列 (${}^t B$) は、「 $A = {}^t B \dots$ 」とすると、イコールの上付きになり B よりも $=$ に近くなってしまうので、何もないうもの ($\{ \}$) の上付き、「 $A = \{ \}^t B \dots$ 」とします。

出力

2 次交代行列 $J_2^- = \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{pmatrix}$ を m 個対角線上に並べてできる $2m$ 次交代行列を I_{2m}^- とする:

$$I_{2m}^- = \begin{pmatrix} 0 & 1 & \cdots & 0 & 0 \\ -1 & 0 & & 0 & 0 \\ \vdots & & \ddots & & \vdots \\ 0 & 0 & & 0 & 1 \\ 0 & 0 & \cdots & -1 & 0 \end{pmatrix}.$$

また、

$$I_{2m+1}^- = \begin{pmatrix} I_{2m}^- & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}$$

とおく。

命題 n 次交代行列 A に対して、その偶数次主座小行列のパフィアン $P_k(A) = Pf(A_{2k,2k})$ ($1 \leq k \leq \lfloor n/2 \rfloor$) がどれも 0 にならないならば、

$$A = {}^t B I_n^- B \quad (B \in B_n)$$

と表される。

(10.3) 課題 64[#] – 数式、相互参照 (義務ではない)

出力

1 代数学の基本定理

n を正整数とし、

$$f(z) = a_0 z^n + a_1 z^{n-1} + \cdots + a_n, \quad a_0 \neq 0, \quad n \geq 1 \quad (1)$$

とおく。このとき、 n 次代数方程式

$$f(z) = 0$$

は、複素数の範囲で少なくともひとつの根を持つ。これを代数学の基本定理と呼ぶ。以下でこれを証明する。証明は、1.2 で完結する。

1.1 補題

R を正の数とする。 $|z| = R$ をみたす複素数 z に対して、つねに $|f(z)| > |f(0)|$ となるならば、

$$f(z_0) = 0, \quad |z_0| < R$$

をみたす z_0 が存在する。

1.2 代数学の基本定理の証明

式 (1) より、

$$\begin{aligned} |f(z)| &= |z|^n \left| a_0 + \frac{a_1}{z} + \frac{a_2}{z^2} + \cdots + \frac{a_n}{z^n} \right| \\ &\geq |z|^n \left(\left| a_0 \right| - \left| \frac{a_1}{z} \right| - \left| \frac{a_2}{z^2} \right| - \cdots - \left| \frac{a_n}{z^n} \right| \right) \end{aligned}$$

である。ところが、 $a_0 \neq 0$ であるから、

$$\lim_{|z| \rightarrow \infty} |z|^n \left(\left| a_0 \right| - \left| \frac{a_1}{z} \right| - \left| \frac{a_2}{z^2} \right| - \cdots - \left| \frac{a_n}{z^n} \right| \right) = +\infty$$

となるので、 R を十分大きい正の数とすると、 $|z| = R$ をみたす z に対してつねに

$$|f(z)| > |f(0)|$$

が成り立つことになる。ゆえに、1.1 の補題により、

$$f(z_0) = 0, \quad |z_0| < R$$

をみたす z_0 が存在する。(証明終わり)

(10.4) 課題 65[#] – 表組み (義務ではない)

出力

1 2 円の位置関係

2 円の半径を r, R ($r < R$)、中心間距離を d とすると、5 種類の位置関係がある。共通接線の数とともに表にまとめると次のようになる。

	位置関係				
	離れている	外接	交わる	内接	包含
	$d > R + r$	$d = R + r$	$R - r < d < R + r$	$d = R - r$	$d < R - r$
共通外接線	2	2	2	1	0
共通内接線	2	1	0	0	0

2 指数関数・対数関数の性質

底 a ($a > 0, a \neq 1$) に対し、指数関数 $y = a^x$ が定義され、その逆関数である対数関数は、 $x = \log_a y$ と定義される。関数の特徴を記す。

名称	記号	定義域	値域	増減
指数関数	a^x	実数全体	正の実数全体	$\begin{cases} \text{単調増加} (a > 1 \text{ のとき}) \\ \text{単調減少} (0 < a < 1 \text{ のとき}) \end{cases}$
対数関数	$\log_a x$	正の実数全体	実数全体	$\begin{cases} \text{単調増加} (a > 1 \text{ のとき}) \\ \text{単調減少} (0 < a < 1 \text{ のとき}) \end{cases}$

上の例だと、cases 環境の内部に日本語を書いています。そのように数式中にテキストを書くために、一時的にテキストモードにするには、`\text` 命令か `\mbox` 命令を用います。

§11 演習問題

この節の問題は、義務ではない課題もほぼ完了した人のため問題です。課題に関する成績は、原則として、義務の課題と義務ではない課題で付けます。この節の問題が提出された場合の成績への加味は、個別に判断します。

(11.1) **課題 70## – 数列の極限 (演習)** 次のような動作をするプログラムを作成し、.sb ファイルを提出して下さい。

- (1) 下の漸化式で定まる数列 $\{a_n\}$ の項を順番に表示する。
- (2) a_n と a_{n+1} の差が十分小さくなったら収束したと判断し、極限値を表示する。

$$\begin{cases} a_1 = 1 \\ 3a_{n+1} = -2a_n^2 + 3a_n + 4 \quad (n \geq 1) \end{cases}$$

実行例

```
1
1.0641500299099584
1.1283000598199169
1.1924500897298753
:
中略
:
3.141592653589793
3.141592653589793
3.141592653589793
極限値 = 3.141592653589793
```

ただし、上の実行例では、各項の値やその表示桁数は適当です。

(11.2) **課題 71## – 数列の極限 (演習)** 次のような動作をするプログラムを作成し、.sb ファイルを提出して下さい。

- (1) 下の漸化式で定まる数列 $\{a_n\}$ と $\{b_n\}$ の項を順番に表示する。

- (2) a_n と a_{n+1} の差が十分小さくなり、かつ、 b_n と b_{n+1} の差が十分小さくなったら収束したと判断し、それぞれの極限値を表示する。

$$\begin{cases} a_1 = 1 \\ b_1 = 2 \\ a_{n+1} = \frac{a_n + b_n}{2} \quad (n \geq 1) \\ b_{n+1} = \sqrt{a_n b_n} \quad (n \geq 1) \end{cases}$$

実行例

```
1, 2
1.0641500299099584, 1.239720283848214
1.1283000598199169, 1.175570253938256
1.1924500897298753, 1.111420224028297
:
中略
:
3.141592653589793, 0.1622776601683795
3.141592653589793, 0.1622776601683795
3.141592653589793, 0.1622776601683795
極限値 = 3.141592653589793, 0.1622776601683795
```

ただし、上の実行例では、各項の値やその表示桁数は適当です。

(11.3) **課題 72## – 平方数 (演習)** 次のような動作をするプログラムを作成し、.sb ファイルを提出して下さい。

- (1) キーボードから数値を入力する。
- (2) その数値が平方数かどうか出力する。

実行例 1

```
数値を入力
121
平方数です
```

実行例 2

数 値 を 入 力

198

平 方 数 で は あ り ま せ ン

ただし、上の各実行例では、2 行目は人間がタイプしたものです。

(11.4) 課題 73## – 平方根の整理 (演習) 次のような動作をするプログラムを作成し、.sb ファイルを提出して下さい。

- (1) キーボードから正の数値を入力する (x とする)。
- (2) $\sqrt{x}$ を簡単にした結果を出力する。

実行例 1

数 値 を 入 力

12

 $2\sqrt{3}$

実行例 2

数 値 を 入 力

121

11

ただし、上の各実行例では、2 行目は人間がタイプしたものです。

(11.5) 課題 74## – 整列 (演習) 次のような動作をするプログラムを作成し、.sb ファイルを提出して下さい。

- (1) キーボードから数値を 4 つ入力する。
- (2) それらを小さい順に出力する。

実行例

数 値 を 4 つ 入 力

3

```
8
5
3
3 3 5 8
```

ただし、上の実行例では、2 から 5 行目は人間がタイプしたものです。

(11.6) 課題 75## – 組合せ (演習) 次のような動作をするプログラムを作成し、.sb ファイルを提出して下さい。

- (1) キーボードから正の数値を入力する (x とする)。
- (2) 1 円玉、5 円玉、10 円玉を何枚かずつ使って x 円にする方法をすべて出力する。

実行例 1

数 値 を 入 力

11

1 円 玉、5 円 玉、10 円 玉、それぞれ、1、0、1 枚

1 円 玉、5 円 玉、10 円 玉、それぞれ、6、1、0 枚

1 円 玉、5 円 玉、10 円 玉、それぞれ、1、2、0 枚

1 円 玉、5 円 玉、10 円 玉、それぞれ、11、0、0 枚

実行例 2

数 値 を 入 力

20

1 円 玉、5 円 玉、10 円 玉、それぞれ、0、0、2 枚

1 円 玉、5 円 玉、10 円 玉、それぞれ、0、2、1 枚

1 円 玉、5 円 玉、10 円 玉、それぞれ、5、1、1 枚

1 円 玉、5 円 玉、10 円 玉、それぞれ、10、0、1 枚

1 円 玉、5 円 玉、10 円 玉、それぞれ、0、4、0 枚

1 円 玉、5 円 玉、10 円 玉、それぞれ、5、3、0 枚

1 円 玉、5 円 玉、10 円 玉、それぞれ、10、2、0 枚

1 円 玉、5 円 玉、10 円 玉、それぞれ、15、1、0 枚

1 円 玉、5 円 玉、10 円 玉、それぞれ、20、0、0 枚

ただし、上の各実行例では、2 行目は人間がタイプしたものであり、また、求める方法を表示する順序は問わない。

(11.7) 課題 76## – 2 進法 (演習) 次のような動作をするプログラムを作成し、.sb ファイルを提出して下さい。

- (1) キーボードから正の数値を入力する (x とする)。
- (2) x を 2 進法で表したとき「1」である桁がいくつあるか出力する。

実行例 1

数 値 を 入 力
5
1 である 桁 は 2 つ

実行例 2

数 値 を 入 力
19484
1 である 桁 は 6 つ

ただし、上の各実行例では、2 行目は人間がタイプしたものである。

(11.8) 課題 77## – 数式 (演習)

出力

1 ヘビの図式

R を可換環とし、次のような R -加群の可換図式が与えられているとして、上下、左右ともにすべての列は完全系列であることを仮定する。

$$\begin{array}{ccccccc} & & & & 0 & & \\ & & & & \downarrow & & \\ & & & & P & & \\ & & & & \downarrow & & \\ & & 0 & & 0 & & \\ & & \downarrow & & \downarrow & & \\ 0 & \rightarrow & M' & \xrightarrow{\phi} & M & \xrightarrow{\psi} & M'' \rightarrow 0 \\ & & \downarrow & & \downarrow & & \downarrow \\ 0 & \rightarrow & N' & \xrightarrow{\phi'} & N & \xrightarrow{\psi'} & N'' \rightarrow 0 \\ & & \downarrow & & \downarrow & & \downarrow \\ & & Q & & 0 & & 0 \\ & & \downarrow & & & & \\ & & 0 & & & & \end{array}$$

このとき、 $P \cong Q$ を証明せよ。

2 判別式

多項式 $D(x_1, x_2, \dots, x_n) = \Delta(x_1, x_2, \dots, x_n)^2 = \prod_{i < j} (x_i - x_j)^2$ は対称式であるので、対称式の基本定理により、 $P_n \in \mathbf{Z}[t_1, t_2, \dots, t_n]$ が存在して、

$$D(x_1, x_2, \dots, x_n) = P_n(s_1, s_2, \dots, s_n)$$

と表される。

べき和対称式を $p_k = x_1^k + x_2^k + \dots + x_n^k$ で定めると、

$$D(x_1, x_2, \dots, x_n) = \begin{vmatrix} p_0 & p_1 & \cdots & p_{n-1} \\ p_1 & p_2 & \cdots & p_n \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{n-1} & p_n & \cdots & p_{2n-2} \end{vmatrix}$$

と表されることが知られている。例えば、 $D(x_1, x_2, x_3) = -4p_1^3 p_3 + p_1^2 p_2^2 + 18p_1 p_2 p_3 - 4p_2^3 - 27p_3^2$ である。

矢印の上に記号が乗っているものは、 $\overset{\text{上に乗せるもの}}{\text{下のもの}}$ とします。太字の $\mathbf{Z}$ は、数式モード中なので $\texttt{\textbf{Z}}$ ではなく、 $\texttt{\textbf{Z}}$

とします。ちなみに、下に付けたいときは`\underset` 命令が使えます。

§12 付録: 主なエラーメッセージ

(12.1) **エラーの発生箇所** エラーが発生した場合、次のような出力が表示されます。

エラー例

```
! Undefined control sequence.
1.3 $y = \loq
      x$
```

- 感嘆符「!」で始まるのがエラーの名前です。
- 1.3 は、エラーが 3 行目で発生したことを示します³⁷。
- 元のソースで同一の行に連続していた`\loq` と `x$` が、行を分けて表示されているのは、分けられた直前がエラーであるという意味です。

つまり、ソースファイルの 3 行目の`\loq` が、未定義命令 (undefined control sequence) であるというエラーです。この場合はスペルミスが原因です。

(12.2) **主なエラーメッセージ** 以下では、エラーメッセージが 1 行に収まらない場合は、適宜折り返して掲げます。

begin と end が対応していない

```
! LaTeX Error: \begin{itemize} on input line 3
ended by \end{document}.
```

`\begin` で始めた環境を閉じ忘れているときに発生するエラーです。

プリアンブル以外でプリアンブル限定の命令を使用した

```
! LaTeX Error: Can be used only in preamble.
```

³⁷ しかし、その行のずっと以前に誤りがあるものの、その行でやっと矛盾が生じたという場合には、修正すべき箇所はエラーの発生した行のずっと前という可能性もあります。

```
:
中略
:
1.3 \usepackage
      {amsmath}
```

プリアンブル (`\documentclass` と `\begin{document}` の間) でしか使えない命令を、`\begin{document}` 以降で用いるなどした場合に発生するエラー。

数式モードで使えない命令を使用した

```
! LaTeX Error: Command \item invalid in math mode.
:
中略
:
1.4 $\item
      $
```

数式モードで使えない命令を使用した場合に発生するエラー。

未定義の環境を使用した

```
! LaTeX Error: Environment docment undefined.
:
中略
:
1.2 \begin{document}
```

環境の名前をスペルミスした場合など、未定義の環境を使用した場合に発生するエラー。

改行できない所で改行した

```
! LaTeX Error: There's no line here to end.
```

段落先頭や、改行した直後で`\\`で改行しようとすると発生するエラー。

余分な閉じブレース (})

```
! Argument of \texttt has an extra }.
<inserted text>
      \par
1.3 {\texttt}
```

命令に引数が不足しているときなどに発生するエラー。

別行立て数式の終了の誤り

```
! Display math should end with $$.  
<to be read again>
```

```
1.3 \[ abc $
```

\[で始めた別行立て数式を\] で終わっていないというエラー。諸々の事情により「\$\$」で終わっていないというメッセージになっていることに注意。

二重の下付き

```
! Double subscript.  
1.3 $ a_b_  
          c $
```

上の例だと a_{b_c} などと書くべき。

二重の上付き

```
! Double superscript.  
1.3 $ a^b^  
          c $
```

上の例だと a^{b^c} などと書くべき。

\$が不足

```
! Missing $ inserted.  
<inserted text>  
          $  
1.3 a_  
    b
```

下付きや\frac など、数式モードでしか使用できない命令を用いたときに発生するエラー。数式モードを終了するための\$を忘れたときにも発生する。

閉じブレース (}) が不足

```
! Missing } inserted.
```

```
<inserted text>  
          }  
1.3 $ \frac{1} $
```

開きブレースに対応する閉じブレースが不足しているときに発生するエラー。

閉じブレース (}) が余分

```
! Too many }'s.  
<recently read> }  
1.3 \texttt{abc}}
```

閉じブレースが多すぎるとき発生するエラー。

未定義命令

```
! Undefined control sequence.  
1.3 $y = \loq  
          x$
```

スペルミスなどが原因で、未定義の命令を使用したときに発生するエラー。

引数の終わりが不明

```
Runaway argument?  
{2 $  
! Paragraph ended before \frac was complete.
```

閉じブレースがないなどが原因で発生するエラー。

索引

Symbols

Clock.Hour	11
Else	9
ElseIf	11
EndSub	18
false	16
For	12
Goto	16
IF (Excel)	2
If	9
Math.Abs	20
Math.ArcCos	20
Math.ArcSin	20
Math.ArcTan	20
Math.Ceiling	20
Math.Cos	20
Math.Floor	20
Math.GetDegrees	20
Math.GetRadians	20
Math.GetRandomNumber	9, 20
Math.Log	20
Math.Max	12, 20
Math.Min	12, 20
Math.NaturalLog	20
Math.Pi	20
Math.Power	20
Math.Remainder	20

Math.Round	20
Math.Sin	20
Math.SquareRoot	13, 20
Math.Tan	20
Program.Delay	23
Step	13
Sub	18
Text.Append	21
Text.ConvertToLowerCase	21
Text.ConvertToUpperCase	21
Text.EndsWith	21
Text.GetCharacter	21
Text.GetCharacterCode	21
Text.GetIndexOf	21
Text.GetLength	21
Text.GetSubText	21
Text.GetSubTextToEnd	21
Text.IsSubText	21
Text.StartsWith	21
TextWindow.ForegroundColor	6
TextWindow.Read	7
TextWindow.ReadNumber	8
TextWindow.Write	6
TextWindow.WriteLine	4
true	16
While	14
<	39

>.....	39
\,.....	37
\\.....	30
\alpha.....	39
\arg.....	37
\bar.....	38
\beta.....	39
\bigcap.....	36
\bigcup.....	36
\bmod.....	37
\cap.....	39
\cdot.....	36
\cdots.....	36
\chi.....	39
\circ.....	39
\cline.....	34
\cong.....	39
\cos.....	37
\cup.....	39
\ddots.....	36
\deg.....	37
\Delta.....	39
\delta.....	39
\det.....	37
\dim.....	37
\div.....	39
\documentclass.....	27
\Downarrow.....	39
\downarrow.....	39
\ell.....	40

\epsilon.....	39
\equiv.....	37, 39
\eta.....	39
\exp.....	37
\footnotesize.....	31
\frac.....	36
\Gamma.....	39
\gamma.....	39
\ge.....	39
\hat.....	38
\hline.....	34
\Huge.....	31
\huge.....	31
\in.....	39
\includegraphics.....	44
\infty.....	37, 40
\int.....	37
\iota.....	39
\item.....	33
\kappa.....	39
\label.....	42
\Lambda.....	39
\lambda.....	39
\LARGE.....	31
\Large.....	31
\large.....	31
\ldots.....	36
\le.....	39
\left.....	37
\Leftarrow.....	39

<code>\leftarrow</code>	39
<code>\Leftrightarrow</code>	39
<code>\leftrightharrow</code>	39
<code>\lim</code>	37
<code>\log</code>	37
<code>\max</code>	37
<code>\mbox</code>	48, 49
<code>\min</code>	37
<code>\mp</code>	39
<code>\mu</code>	39
<code>\multicolumn</code>	34
<code>\nearrow</code>	39
<code>\neq</code>	39
<code>\newcommand</code>	46
<code>\newpage</code>	30
<code>\ni</code>	39
<code>\nonumber</code>	41
<code>\normalsize</code>	31
<code>\notin</code>	39
<code>\nu</code>	39
<code>\nrightarrow</code>	39
<code>\Omega</code>	39
<code>\omega</code>	39
<code>\overbrace</code>	38
<code>\overleftarrow</code>	38
<code>\overline</code>	38
<code>\overrightarrow</code>	38
<code>\overset</code>	53
<code>\pageref</code>	42
<code>\paragraph</code>	29

<code>\partial</code>	40
<code>\perp</code>	39
<code>\Phi</code>	39
<code>\phi</code>	39
<code>\Pi</code>	39
<code>\pi</code>	39
<code>\pm</code>	39
<code>\pmod</code>	37
<code>\prod</code>	36
<code>\Psi</code>	39
<code>\psi</code>	39
<code>\quad</code>	43
<code>\ref</code>	42
<code>\rho</code>	39
<code>\right</code>	37
<code>\rightarrow</code>	39
<code>\rightarrowtail</code>	39
<code>\scriptsize</code>	31
<code>\searrow</code>	39
<code>\section</code>	29
<code>\Sigma</code>	39
<code>\sigma</code>	39
<code>\sim</code>	39
<code>\sin</code>	37
<code>\small</code>	31
<code>\sqrt</code>	36
<code>\subsection</code>	29
<code>\subset</code>	39
<code>\subseteq</code>	39
<code>\subsubsection</code>	29

<code>\sum</code>	36
<code>\supset</code>	39
<code>\supseteq</code>	39
<code>\swarrow</code>	39
<code>\tableofcontents</code>	43
<code>\tan</code>	37
<code>\tau</code>	39
<code>\TeX</code>	28
<code>\text</code>	48, 49
<code>\textbf</code>	31
<code>\textgt</code>	31
<code>\textit</code>	31
<code>\textrm</code>	31
<code>\textsc</code>	31
<code>\textsf</code>	31
<code>\textsl</code>	31
<code>\texttt</code>	31
<code>\Theta</code>	39
<code>\theta</code>	39
<code>\times</code>	39
<code>\tiny</code>	31
<code>\to</code>	37
<code>\underbrace</code>	38
<code>\underline</code>	30, 38
<code>\underset</code>	53
<code>\Uparrow</code>	39
<code>\uparrow</code>	39
<code>\Updownarrow</code>	39
<code>\updownarrow</code>	39
<code>\Upsilon</code>	39

<code>\upsilon</code>	39
<code>\usepackage</code>	40
<code>\varepsilon</code>	39
<code>\varphi</code>	39
<code>\vdots</code>	36
<code>\verb</code>	28
<code>\widehat</code>	38
<code>\widetilde</code>	38
<code>\Xi</code>	39
<code>\xi</code>	39
<code>\zeta</code>	39
<code>^</code>	35
<code>_</code>	35
<code>o</code>	39
<code>10pt</code>	27
<code>11pt</code>	27
<code>12pt</code>	27

A

<code>align*</code> 環境	41
<code>align</code> 環境	41
<code>amsmath</code> パッケージ	40
<code>array</code> 環境	38

B

<code>BMP</code> 形式	44
---------------------------	----

C

<code>cases</code> 環境	40
<code>center</code> 環境	32

D

description 環境	33
document 環境	27
dvipdfmx オプション	44
dvi ファイル	26

E

enumerate 環境	33
EPS 形式	44

F

flushleft 環境	32
flushright 環境	32

G

gather*環境	41
gather 環境	41
graphicx パッケージ	44

H

hiresbb オプション	44
---------------------	----

I

itemize 環境	33
------------------	----

J

JPEG 形式	44
---------------	----

L

landscape	27
log 型関数	37

P

PDF 形式	44
--------------	----

pmatrix 環境	40
PNG 形式	44

Q

quotation 環境	32
quote 環境	32

S

small 型命令	31
-----------------	----

T

tabular 環境	34
TeXworks	26
tex ファイル	26
twocolumn	27

U

underline 型命令	31
---------------------	----

V

vmatrix 環境	40
------------------	----

X

xbb ファイル	44
----------------	----

あ

インテリセンス	5
インライン数式	35
エディタ	4
演算子	6

か

改行	30
----------	----

改ページ	30
カウンタ変数	12
箇条書き	33
下線	30
画像	44
空行	29
環境	32
空白	27
グループ化	35
構造化プログラミング	16

さ

サブルーチン	18
順次	5
書体	31
数式モード	35
スコープ	18
添字	35

た

ツールバー	4
テキストウィンドウ	5
テキストモード	35
特殊文字	28

な

流れ図	15
-----------	----

は

反復	15
フォント	31
フローチャート	15

プログラムのフォーマット	10
分岐	10
別行立て数式	35
変数	7

ま

マクロ	46
無限ループ	16
文字サイズ	31

や

ユークリッドの互除法	17
------------------	----

ら

ラベル	16
累乗	35