

---

# PySIMPLE Documentation

リリース **1.3.1**

**nuopt-support@ml.msi.co.jp**

**2022 年 06 月 29 日**



# 目次

第 1 章	はじめに	1
1.1	PySIMPLE について	1
1.2	動作環境	1
1.3	インストール	2
1.4	アップデート	4
1.5	アンインストール	4
第 2 章	チュートリアル	5
2.1	はじめに	5
2.2	数理計画問題を記述する	8
第 3 章	ユーザガイド	27
3.1	PySIMPLE の基本事項	27
3.2	Python の基本事項	29
3.3	数理計画モデルの構成要素	32
3.4	制約充足問題ソルバ wcsp/wls	57
3.5	出力制御	58
3.6	求解オプション	66
3.7	実行不可能性要因検出機能	67
3.8	その他の機能	69
第 4 章	サンプル	85
4.1	チュートリアル	85
4.2	数独	86
4.3	例題集	92
第 5 章	API ドキュメント	95
5.1	クラス	95
5.2	関数	148
5.3	例外	162
5.4	演算	163
5.5	用語集	177
第 6 章	更新履歴	179

6.1	[1.3.1] - 2022-06-30 . . . . .	179
6.2	[1.3.0] - 2022-03-28 . . . . .	180
6.3	[1.2.1] - 2021-06-16 . . . . .	183
6.4	[1.2.0] - 2021-03-29 . . . . .	184
6.5	[1.1.2] - 2020-09-11 . . . . .	185
6.6	[1.1.1] - 2020-06-08 . . . . .	186
6.7	[1.1.0] - 2020-03-02 . . . . .	187
6.8	[1.0.1] - 2019-07-01 . . . . .	190
6.9	[1.0.0] - 2019-03-08 . . . . .	192
第 7 章 ライセンス		193
Python モジュール索引		197
索引		199

# 第 1 章

## はじめに

### 1.1 PySIMPLE について

PySIMPLE (pronounced 'pie simple') は MSI Nuorium Optimizer の Python インタフェースです。

従来の Nuorium Optimizer 付属のモデリング言語 SIMPLE の文法をできるだけ Python 環境に取り入れることにより、以前から Nuorium Optimizer をご利用いただいているユーザーは違和感なく、新たにご利用いただくユーザーにはモデリング言語 SIMPLE と共にご利用いただくことができます。

Nuorium Optimizer は幅広い数理計画問題に対して豊富な解法を提供する数理計画ソルバーです。PySIMPLE ではこのうち線形計画問題，二次計画問題，制約充足問題に対して Nuorium Optimizer への接続インターフェースを提供します。

### 1.2 動作環境

PySIMPLE は以下の環境で動作します。

- OS
  - Windows : Windows 8.1, 10, 11, これら OS の Server 版
  - Linux : Cent OS 7.x, Ubuntu 20.04 LTS など
  - macOS : Monterey(12.0)
- 対応 Python
  - Python3.8(32bit, 64bit), Python3.9(32bit, 64bit), Python3.10(64bit)
    - \* 依存モジュール
      - ・ `scipy` ( $\geq 1.2.0$ )
      - ・ `numpy` ( $\geq 1.8.2$  from `scipy`  $\geq 1.2.0$ )

- Nuorium Optimizer : V24 の開発版のライセンスが有効である環境

動作確認は以下の OS に対して、<http://www.python.org/> からダウンロードできる Python3.8.10, 3.9.13, 3.10.5 にて実施していますが、一般的な Python(いわゆる CPython) であれば、上記バージョンが一致すれば動作すると思われます。

## 1.3 インストール

PySIMPLE をご利用いただくに先立って Nuorium Optimizer と Python をインストールしておく必要があります。

Nuorium Optimizer のインストールについては下記をご覧ください。

- <http://www.msi.co.jp/nuopt/download/manual/index.html>

Python のインストールについては下記をご覧ください。

- <https://docs.python.org/ja/3/using/windows.html>

PySIMPLE のインストールは利用する Python の pip にて行います。以下、インストールの手順になります。

PySIMPLE のインストール先は、利用する Python のインストール先の「lib\site-packages」フォルダーになります。そのため、インストールするユーザーは本フォルダーに対して書き込み権限が必要となります。インストール作業を実行する際は、本フォルダーに対して書き込み権限があるユーザーでログインしてください。

### 1. Nuorium Optimizer のインストールメディアをセットする

Windows 版の PySIMPLE のインストール用のファイルは

`%DVD-R%\pysimple\pysimple-1.3.1-cp3x-cp3x-(win32|win_amd64).whl`

です。%DVD-R% はインストールメディアのトップフォルダーを表し、cp3x はご利用になる Python のバージョンを表す cp38, cp39, cp310 のいずれかになります。また、win32, win\_amd64 は Python のプラットフォームを表しており、32bit の Python の場合は win32, 64bit の Python の場合は win\_amd64 となります。ただし Python3.10 は 64bit のみとなります。

macOS 版、Linux 版のインストール用のファイルは例えば

macOS 版 : `pysimple-1.3.1-cp3x-cp3x-macosx_11_0_x86_64.whl`

linux 版 : `pysimple-1.3.1-cp3x-cp3x-linux_x86_64.whl`

のようなファイルとなりますが、詳しくは各々のインストールガイドを参照してください。

(\*) 以下ではこのインストール用のファイルのことを wheel ファイルと呼びます。

python コマンドにパスが通っていれば以下のようにしてご利用環境の Python のバージョンを確かめられます。:

```
$ python --version
Python 3.10.5
```

## 2. コマンドプロンプトを起動する

Windows の場合は、スタートメニューからコマンドプロンプトを起動してください。Python のインストール先の書き込み権限がない場合は、コマンドプロンプトを起動する際に右クリックメニューの「管理者として実行」から起動する必要があります。Anaconda をご利用の場合は Anaconda Prompt を起動してください。

macOS, Linux の場合は端末を起動してください。

## 3. wheel ファイルを使ってインストールする

2. で起動したコマンドプロンプト上で次のコマンドを実行してください. :

```
$ cd /d %DVD-R%\pysimple
$ pip install pysimple-1.3.1-cp3x-cp3x-win_amd64.whl
Processing c:\users\uname\desktop\whl\pysimple-1.3.1-cp3x-cp3x-win_amd64.whl
Requirement already satisfied: scipy>=1.2.0 in c:\users\uname\appdata\local\
  ↳ programs\python\python3x\lib\site-packages (from pysimple==1.3.1) (1.5.4)
Requirement already satisfied: numpy>=1.14.5 in c:\users\uname\appdata\local\
  ↳ programs\python\python3x\lib\site-packages (from scipy>=1.2.0->pysimple==1.3.1)
  ↳ (1.19.4)
Installing collected packages: pysimple
Successfully installed pysimple-1.3.1
$
```

このように最後に「Successfully installed pysimple-1.3.1」と表示されればインストールは成功です。また, **numpy**, **scipy** がインストールされていない, もしくは, 古いバージョンである場合は自動的にインストールされますが, インターネットにつながっている必要があります. :

```
Fatal error in launcher: Unable to create process
```

このようなエラーが出る場合は次のコマンドをお試しください. :

```
$ python -m pip install wheel ファイル名

Anaconda をご利用の場合は `Using wheel files with conda <https://docs.conda.io/projects/conda-build/en/latest/user-guide/wheel-files.html>` もご確認くださいませ。
```

## 4. 動作確認

3. に続けて次のコマンドを実行してください。標準出力に大量の出力がされますが, 下のような出力が最後に表示されていれば正しく動作しています. :

```
$ python -m pysimple.sample.sudoku
:
+-----+-----+-----+
| 5 3 4 | 6 7 8 | 9 1 2 |
| 6 7 2 | 1 9 5 | 3 4 8 |
| 1 9 8 | 3 4 2 | 5 6 7 |
+-----+-----+-----+
| 8 5 9 | 7 6 1 | 4 2 3 |
| 4 2 6 | 8 5 3 | 7 9 1 |
| 7 1 3 | 9 2 4 | 8 5 6 |
+-----+-----+-----+
| 9 6 1 | 5 3 7 | 2 8 4 |
| 2 8 7 | 4 1 9 | 6 3 5 |
| 3 4 5 | 2 8 6 | 1 7 9 |
+-----+-----+-----+
```

## 1.4 アップデート

インストール時と同じです。ダウングレードを行う場合は一旦アンインストールが必要です。

## 1.5 アンインストール

アンインストールはインストールと同じく **pip** コマンドで行います。以下のコマンドを実行してください。:

```
$ pip uninstall pysimple
Uninstalling pysimple-1.3.1:
  Would remove:
    c:\users\uname\appdata\local\programs\python\python3x\lib\site-packages\pysimple-1.
↪3.1.dist-info\*
    c:\users\uname\appdata\local\programs\python\python3x\lib\site-packages\pysimple\
↪sample\*
    c:\users\uname\appdata\local\programs\python\python3x\license
Proceed (y/n)?
```

「Proceed(y/n)?」と表示されましたら、アンインストールを続ける場合は「y」を入力しリターンキーを押してください。アンインストールが成功すると下記のように「Successfully uninstalled pysimple-1.3.1」と表示されます。:

```
c:\users\uname\appdata\local\programs\python\python3x\license
Proceed (y/n)? y
Successfully uninstalled pysimple-1.3.1
$
```



## 第 2 章

# チュートリアル

### 2.1 はじめに

Nuorium Optimizer は数理計画問題を解くための汎用ソルバであり，PySIMPLE は数理計画問題を記述するモデリング言語です．

本稿は Nuorium Optimizer/PySIMPLE の基本的な機能に関するチュートリアルです．本稿を一読していただければ，Nuorium Optimizer/PySIMPLE の基本的な利用方法がご理解いただけると思います．

#### 2.1.1 数理計画問題とは

数理計画問題とは，「与えられた条件の下で，望ましさの尺度を表す何らかの関数の最小値（最大値）を求め，さらにその最小値（最大値）を与える不特定要素の値を決定する」という問題です．

上記における，「与えられた条件」は制約条件，「望ましさの尺度を表す関数」は目的関数，「不特定要素」は変数と一般に呼ばれています．この用語を用いて書き直すと，数理計画問題とは，「制約条件を満たす範囲における目的関数の最小値（最大値）及びその最小値（最大値）を与える変数を求める問題」といえます．

例えば， $x \geq 0$  において  $3x + 2$  の最小値を求める問題は，数理計画問題です．この場合，制約条件は  $x \geq 0$ ，目的関数は  $3x + 2$ ，変数は  $x$  となります．

この問題は数理計画の世界では次のように書かれます：

- 目的関数： $3x + 2 \rightarrow$  最小化
- 制約条件： $x \geq 0$

考える間もなく，上記の数理計画問題の最もよい目的関数値は 2（ $x = 0$  のとき）となります．このときの変数の値を最適解と呼びます．

最適解を求めることを「数理計画問題を解く」あるいは「最適化する」といいます．

## 2.1.2 数理計画問題を解く

sample.py というファイルに以下を記述してみましょう. :

```
from pysimple import Problem, Variable

problem = Problem(type=min)
x = Variable()
problem += 3*x + 2
problem += x >= 0
problem.solve()
```

この状態で sample.py のあるフォルダに行き, コマンドプロンプトから python sample.py と入力してみましょう. :

```
$ python sample.py

[About Nuorium Optimizer]
Nuorium Optimizer 24.1.1 build:ff97c72
    <with META-HEURISTICS engine "wcsp"/"rcpsp">
    <with Netlib BLAS>
, Copyright (C) 1991 NTT DATA Mathematical Systems Inc.

[Problem and Algorithm]
PROBLEM_NAME                Problem
NUMBER_OF_VARIABLES         1
NUMBER_OF_FUNCTIONS          2
PROBLEM_TYPE                 MINIMIZATION
METHOD                       HIGHER_ORDER

[Progress]
<preprocess begin>.....<preprocess end>
<iteration begin>
    res=3.0e-03 .... 2.1e-10
<iteration end>

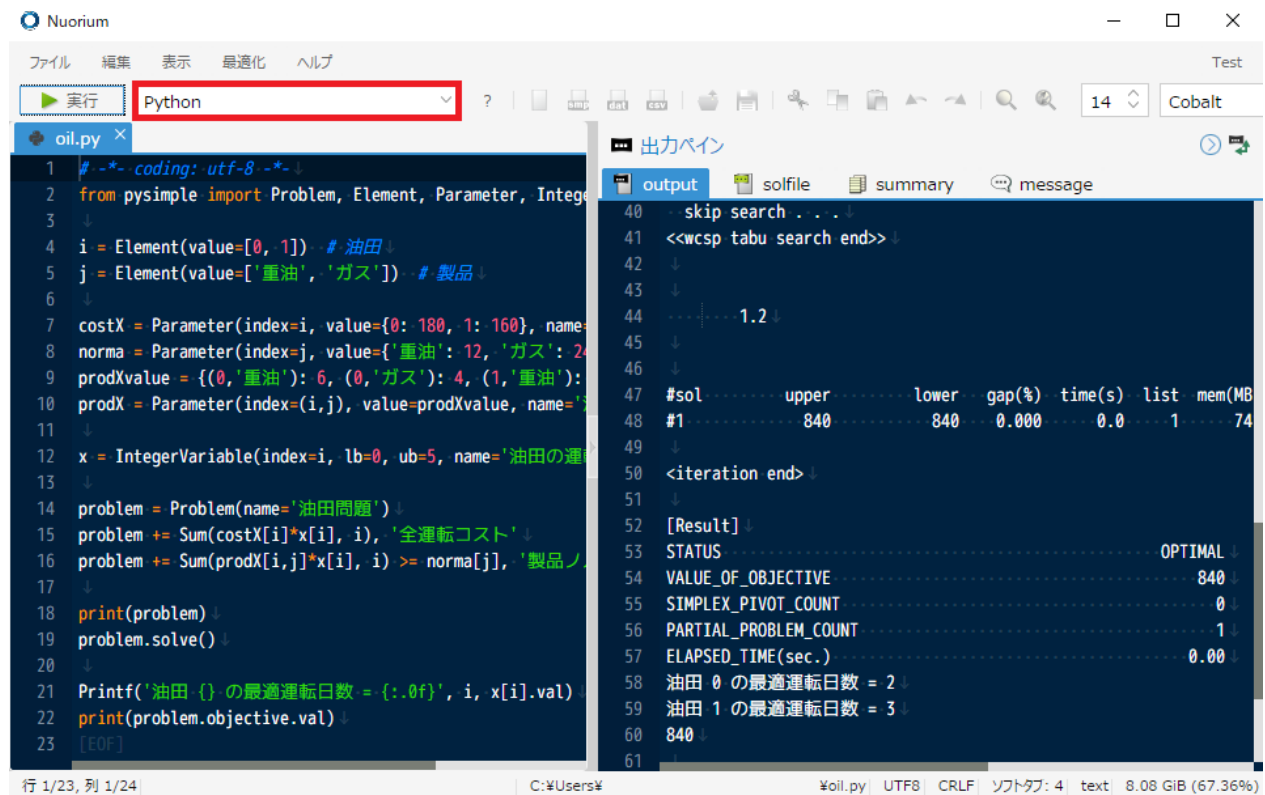
[Result]
STATUS                       OPTIMAL
VALUE_OF_OBJECTIVE           2
ITERATION_COUNT              5
FUNC_EVAL_COUNT              8
FACTORIZATION_COUNT          6
RESIDUAL                     2.077775694e-10
ELAPSED_TIME(sec.)           0.04
```

この一連の操作で, あなたは Nuorium Optimizer を使って次の数理計画問題を解いたことになります. ここで python は PySIMPLE をインストールしたときの Python 環境です. 以降, python コマンドは PySIMPLE をインストールしたときの Python 環境を指します.

インタプリタから実行することもできます。python -i と入力してインタプリタを起動させてみましょう。:

```
$ python -i
Python 3.10.5 (tags/v3.10.5:f377153, Jun 6 2022, 16:14:13) [MSC v.1929 64 bit
  ↳(AMD64)] on win32
Type "help", "copyright", "credits" or "license" for more information.
>>> from pysimple import Problem, Variable
pysimple 1.3.1 ("Thu Jun 23 21:40:23 2022 +0900" "aa33074")
Copyright (C) 2019 NTT DATA Mathematical Systems Inc. All Rights Reserved.
>>> problem = Problem(type=min)
>>> x = Variable()
>>> problem += 3*x + 2
>>> problem += x >= 0
>>> problem.solve()
# 以下同様の出力
```

Windows 版では Nuorium エディタ から実行することができます。python コマンドにパスが通っている場合は、「Python」を選択した状態で実行ボタン (F5) を押すと、開いている (アクティブなタブ) Python プログラムが実行されます。



パスが通っていない場合は、ユーザフォルダ\AppData\Roaming\nuorium\editor\defaulttrc.json の設定を変更することにより Nuorium 上で実行できます。例えば python が「ユーザフォルダ\Anaconda3」に存在する場合、nuoriumrc.json を次のように変更します。:

```
{
  "Python": {
    "command": "ユーザフォルダ\\Anaconda3\\python",
    "args": ["|fullname|"],
    "options": {
      "cwd": "|directory|"
    }
  }
}
```

詳細は Nuorium 上で [メニューバー] -> [ヘルプ] -> [Nuorium リファレンスマニュアル (PDF)](F1) の 3.6.3 節「外部コマンド実行の記述方法」をご確認ください。

## 2.2 数理計画問題を記述する

本章では、具体的な例題を通して、モデリング言語 PySIMPLE の文法を紹介します。

Nuorium Optimizer SIMPLE チュートリアルに対応しておりますので SIMPLE による記述はそちらもご確認ください。

### 2.2.1 目的関数・変数・制約

次のような生産計画問題を考えます。

---

2つの油田 X, Y が存在し、それぞれ一日あたり重油・ガスを次の量だけ生産する。

表 2.1 生産量/日

	重油	ガス
X	6t	4t
Y	1t	6t

また、重油・ガスの週あたりの生産ノルマが、次のように定められている。

	ノルマ/週
重油	12t
ガス	24t

油田 X, Y の日あたりの運転コストは、次のとおりである。

	運転コスト/日
X	180
Y	160

油田 X, Y ともに, 最大で週 5 日まで運転可能である. ノルマを満たしながら運転コストを最小化するためには, それぞれの油田を週あたり何日運転すれば良いだろうか?

この問題を定式化すると, 以下のようになります.

#### 変数

$x$	油田 X の運転日数/週
$y$	油田 Y の運転日数/週

#### 目的関数 (最小化)

$180x + 160y$	運転コスト/週
---------------	---------

#### 制約条件

$6x + y \geq 12$	重油ノルマ/週
$4x + 6y \geq 24$	ガスノルマ/週
$0 \leq x \leq 5$	油田 X の週あたりの運転日数制約
$0 \leq y \leq 5$	油田 Y の週あたりの運転日数制約

それでは, この問題を PySIMPLE で記述した例を見てみましょう. :

```
from pysimple import Problem, Variable

problem = Problem(name=' 油田問題 1 ')

# 油田 X, Y の運転日数/週 (変数)
x = Variable(name=' 油田 X の運転日数 ')
y = Variable(name=' 油田 Y の運転日数 ')

# 運転コスト (目的関数)
problem += 180*x + 160*y, ' 全運転コスト '

# 製品ノルマ
problem += 6*x + y >= 12, ' 重油ノルマ/週 '
problem += 4*x + 6*y >= 24, ' ガスノルマ/週 '

# 各油田の日数制約
problem += 0 <= x, ' 油田 X の週あたりの運転日数制約 (下限) '
problem += x <= 5, ' 油田 X の週あたりの運転日数制約 (上限) '
```

(次のページに続く)

(前のページからの続き)

```

problem += 0 <= y, ' 油田 Y の週あたりの運転日数制約 (下限) '
problem += y <= 5, ' 油田 Y の週あたりの運転日数制約 (上限) '

# 求解
print(problem)
problem.solve()

# 結果出力
print(x.val)
print(y.val)
print(problem.objective.val)

```

この PySIMPLE による記述を上から順に見ていきましょう. :

```
from pysimple import Problem, Variable
```

この部分はモデリングに必要なクラスや関数を使える状態にしています. PySIMPLE でモデリングを行う前には使用するオブジェクトを使える状態にしておく必要があります. インポートできるオブジェクト一覧やインポート方法はさまざまですが, ここでは一旦先に進むことにします. :

```
problem = Problem(name=' 油田問題 1 ')
```

この部分は問題の宣言です. name='..' には問題の名前を指定します. name='..' は省略可能ですが, 出力などで使用されますので, なるべく記述した方が良いでしょう.

また, ここでは記述がありませんが, type=.. で目的関数の最小化・最大化を指定することができます. 指定する場合は type=min や type=max のように記述します. 省略した場合は最小化となります. :

```

# 油田 X, Y の運転日数/週 (変数)
x = Variable(name=' 油田 X の運転日数 ')
y = Variable(name=' 油田 Y の運転日数 ')

```

この部分は変数 (油田の運転日数) の宣言です. モデル中で使用する変数は, 使用する前に宣言する必要があります. name='..' には変数の名前を指定しますが省略可能です.

# から行の終わりまではコメントです.

```

# 運転コスト (目的関数)
problem += 180*x + 160*y, ' 全運転コスト '

```

この部分は目的関数 (運転コスト) の内容を問題に設定しています. += の左辺に問題を, 右辺に目的関数とその名前を記述します. 目的関数の名前は省略可能です.

\* は積, + は和を表す演算子です. PySIMPLE では四則演算や数学関数 (Sum(), Exp(), ..) などを式の記述に用いることができます.

```
# 製品ノルマ
problem += 6*x + y >= 12, '重油ノルマ/週'
problem += 4*x + 6*y >= 24, 'ガスノルマ/週'
```

この部分では制約式（生産ノルマ）を問題に設定しています。+= の左辺に問題を、右辺に制約式とその名前を記述します。制約式の名前は省略可能です。

関係演算子 >= の左辺、右辺には、任意の式を記述できます。目的関数の内容定義の際と同様に、任意の式の中に演算子や数学関数を記述できます。左辺と右辺の関係を表す関係演算子には、>=, <=, == を指定できます。:

```
# 各油田の日数制約
problem += 0 <= x, '油田 X の週あたりの運転日数制約 (下限)'
problem += x <= 5, '油田 X の週あたりの運転日数制約 (上限)'
problem += 0 <= y, '油田 Y の週あたりの運転日数制約 (下限)'
problem += y <= 5, '油田 Y の週あたりの運転日数制約 (上限)'
```

この部分は制約式（運転日数の上下限）を設定しています。problem += 0 <= x <= 5 のように一度に記述することはできません。変数の上下限は宣言時に下限を lb, 上限を ub で記述することもできます。上記の制約式を記述する代わりに変数を宣言するときに次のように記述します。:

```
x = Variable(lb=0, ub=5, name='油田 X の運転日数')
y = Variable(lb=0, ub=5, name='油田 Y の運転日数')
```

以上で、問題の定義の記述は完了です。

次に、これまでに定義した問題の最適解を求め、結果を出力する部分を記述します。:

```
# 求解
print(problem)
problem.solve()
```

print(問題) は問題に設定された情報を出力します。問題.solve() は定義した問題について最適解の計算を行う関数です。問題.solve() は、必ずモデル記述の後に記述する必要があります。

```
# 結果出力
print(x.val)
print(y.val)
print(problem.objective.val)
```

この部分は、最適化計算結果の出力を指定しています。変数や式に .val を付けることでその現在値を取り出すことができます。問題の目的関数は 問題.objective で参照できます。最適化計算後の値を出力するためには、最適化計算 solve の後に記述する必要があります。

以上でこのモデルについての PySIMPLE の記述は終了です。

次にこのモデルを実行してみます（実行方法については [数理計画問題を解く](#) を参照してください）。すると、数理

計画モデルを解く経過が、以下のように出力されます。

```

Problem(name=' 油田問題 1', type=min):
[constraints]
重油ノルマ/週:
6*油田 X の運転日数 + 油田 Y の運転日数>=12
ガスノルマ/週:
4*油田 X の運転日数 +6*油田 Y の運転日数>=24

[objective]
全運転コスト:
180*油田 X の運転日数 +160*油田 Y の運転日数

[About Nuorium Optimizer]
Nuorium Optimizer 24.1.1 build:ff97c72
    <with META-HEURISTICS engine "wcsp"/"rcpsp">
    <with Netlib BLAS>
, Copyright (C) 1991 NTT DATA Mathematical Systems Inc.

[Problem and Algorithm]


|                     |              |
|---------------------|--------------|
| PROBLEM_NAME        | 油田問題 1       |
| NUMBER_OF_VARIABLES | 2            |
| NUMBER_OF_FUNCTIONS | 3            |
| PROBLEM_TYPE        | MINIMIZATION |
| METHOD              | HIGHER_ORDER |



[Progress]
<preprocess begin>.....<preprocess end>
<iteration begin>
    res=1.2e+02 .... 4.1e-06 2.1e-08
<iteration end>

[Result]


|                     |                 |
|---------------------|-----------------|
| STATUS              | OPTIMAL         |
| VALUE_OF_OBJECTIVE  | 750             |
| ITERATION_COUNT     | 6               |
| FUNC_EVAL_COUNT     | 9               |
| FACTORIZATION_COUNT | 7               |
| RESIDUAL            | 2.072696939e-08 |
| ELAPSED_TIME(sec.)  | 0.02            |


油田 X の運転日数.val=1.500000000256067
油田 Y の運転日数.val=2.999999999710107
全運転コスト.val=750.0000000414537

```

最後に結果出力に対応する結果が以下のように出力されます. :

```

油田 X の運転日数.val=1.500000000256067
油田 Y の運転日数.val=2.999999999710107

```

(次のページに続く)



(前のページからの続き)

```
全運転コスト.val=750.0000000414537
```

`+=` の左辺は指定した変数と目的関数の名前で, `name='..'` に記述したものが出力されます. 右辺には変数と目的関数の値が出力されています.

また, このモデルは PySIMPLE のサンプルとして同梱されています. このサンプルを実行するには次のようにします. :

```
$ python -m pysimple.sample.tutorial oil1
```

## 2.2.2 定数

現在は, モデル中に油田運転コストの値を直接記述しています. これを変更し, 外部から任意の値を与えてみましょう. まず, 定式化を以下のように変更します.

目的関数

$costX \cdot x + costY \cdot y$	運転コスト/週
---------------------------------	---------

定数

$costX$	油田 $X$ の運転コスト/日
$costY$	油田 $Y$ の運転コスト/日

$costX, costY$  はそれぞれ油田  $X, Y$  の運転コスト/日を表す定数です. PySIMPLE では, このような定数を使用した記述が可能です.

ここでは, 定数を用いて, 運転コストを以下のように変更します. :

```
from pysimple import Problem, Variable
```

↓

```
from pysimple import Problem, Variable, Parameter
```

```
problem += 180*x + 160*y, '全運転コスト'
```

↓

```
costX = Parameter(value=180, name='油田 X の運転コスト')
costY = Parameter(value=160, name='油田 Y の運転コスト')
problem += costX*x + costY*y, '全運転コスト'
```

まず, `Parameter` で定数を宣言します. モデル中で使用する定数は, 使用する前に宣言する必要があります. `value=..` には定数の値を指定します. `name='..'` には定数の名前を指定しますが省略可能です.

今回のモデルでは添字がないので `Parameter` を用いずに記述しても構いません. :

```
costX = 180
costY = 160
problem += costX*x + costY*y, '全運転コスト'
```

では, 実行してみます (実行方法については [数理計画問題を解く](#) を参照してください).

最適化経過の出力の後, 次のような実行結果が得られます. :

```
油田 X の運転日数.val=1.500000000256067
油田 Y の運転日数.val=2.999999999710107
全運転コスト.val=750.0000000414537
```

前回と同じ結果が得られています. `Parameter` を使用することで, データの変更のみで違う問題を解くことができます.

では, データを変更して実行してみましょう. 以下のようにデータを変更します. :

```
costX = Parameter(value=100, name='油田 X の運転コスト')
costY = Parameter(value=170, name='油田 Y の運転コスト')
```

実行すると, 以下の結果が得られます. :

```
油田 X の運転日数.val=4.99999999387777
油田 Y の運転日数.val=0.6666666712283269
全運転コスト.val=613.3333334965926
```

また, このモデルは PySIMPLE のサンプルとして同梱されています. このサンプルを実行するには次のようになります. :

```
$ python -m pysimple.sample.tutorial oil2
```

### 2.2.3 集合・添字

油田運転日数を一般的に記述することを考えてみましょう. まず油田運転日数  $x, y$  をそれぞれ  $x_0, x_1$  と変更し, 定式化を次のように変更します.

---

## 集合

$OilField = \{0, 1\}$	油田集合
-----------------------	------

## 変数

$x_i, \quad i \in OilField$	油田 $i$ の運転日数/週
-----------------------------	----------------

## 定数

$costX$	油田 0 の運転コスト/日
$costY$	油田 1 の運転コスト/日

## 目的関数

$costX \cdot x_0 + costY \cdot x_1$	運転コスト/週
-------------------------------------	---------

## 制約条件

$6x_0 + x_1 \geq 12$	重油ノルマ/週
$4x_0 + 6x_1 \geq 24$	ガスノルマ/週
$0 \leq x_i \leq 5, \quad \forall i \in OilField$	油田 $i$ の週あたりの運転日数制約

対応する PySIMPLE の記述は、次のようになります. :

```
from pysimple import Problem, Set, Element, Parameter, Variable

problem = Problem(name=' 油田問題 3')

# 油田集合
OilField = Set(value=[0, 1], name=' 油田集合')
i = Element(set=OilField)

# 油田 i の運転コスト/日
costX = Parameter(value=180, name=' 油田 X の運転コスト')
costY = Parameter(value=160, name=' 油田 Y の運転コスト')

# 油田 i の運転日数 (変数)
x = Variable(lb=0, ub=5, index=i, name=' 油田の運転日数')

# 運転コスト/週 (目的関数)
problem += costX*x[0] + costY*x[1], ' 全運転コスト'

# 製品ノルマ
problem += 6*x[0] + x[1] >= 12, ' 重油ノルマ/週'
problem += 4*x[0] + 6*x[1] >= 24, ' ガスノルマ/週'

# 求解
print(problem)
problem.solve()

# 結果出力
```

(次のページに続く)

(前のページからの続き)

```
print(x.val)
print(problem.objective.val)
```

定式化と同様、日数制約を一度に書き表しています。

それでは、PySIMPLE の記述の変更・追加点について、上から順に見ていきます。：

```
# 油田集合
OilField = Set(value=[0, 1], name='油田集合')
```

ここでは集合（油田の集合）を宣言しています。value=.. には集合の要素の列を指定します。ここでは油田集合の内容を定義しています。先の定式化の添字範囲が {0, 1} なので、0, 1 を集合の要素とします。name='..' には集合の名前を指定しますが省略可能です。：

```
i = Element(set=OilField)
```

ここでは集合 OilField の要素を表す添字 i を宣言しています。set=... で添字が属する集合を定義します。PySIMPLE では集合を宣言せずに、要素を指定した添字を直接宣言することもできます。添字を直接宣言する場合は次のように記述します。：

```
i = Element(value=[0, 1])
```

```
x = Variable(lb=0, ub=5, index=i, name='油田の運転日数')
```

ここでは油田の運転日数を、添字付き変数として宣言しています。index=.. で添字を指定します。

```
# 運転コスト/週（目的関数）
problem += costX*x[0] + costY*x[1], '全運転コスト'
```

ここでは運転コストの内容定義をしています。添字付けは、x[添字] と記述します。：

```
# 製品ノルマ
problem += 6*x[0] + x[1] >= 12, '重油ノルマ/週'
problem += 4*x[0] + 6*x[1] >= 24, 'ガスノルマ/週'
```

ここでは製品ノルマの制約を記述しています。以前に x, y と書いた変数部分を x[0], x[1] と置き換えただけです。

```
# 結果出力
print(x.val)
```

結果出力も上記日数制約と同様に、添字に i と指定することで、全ての  $i \in OilField$  について x[i] の値が出力されます。ここでは print(x.val) としていますが、print(x[i].val) でも同じ効果があります。

次に実行してみます（実行方法については [数理計画問題を解く](#) を参照してください）。最適化経過が出力されたあと、print(x) に対応した、以下の出力が得られます。

```
油田の運転日数 [0].val=1.500000000256067
油田の運転日数 [1].val=2.999999999710107
```

変数名が添字つきで出力されているのが確認できます。

ここまでの記述の変更で、油田集合 `OilField` を導入し、各油田の運転日数を `x[i]` と簡略化することができました。次に、油田運転コスト `costX`, `costY` も添字 `i` を用いて簡略化してみます。運転コストを添字付けし、以下のように表すことにします。

定数

$$costX_i, i \in OilField \quad \text{油田 } i \text{ の運転コスト/日}$$

$costX_0, costX_1$  はそれぞれ以前の  $costX, costY$  に対応する定数です。PySIMPLE でも同様に定数の添字付けを用いて、以下のように修正します。：

```
# 油田 i の運転コスト/日
costX = Parameter(value=180, name='油田 X の運転コスト')
costY = Parameter(value=160, name='油田 Y の運転コスト')

# 運転コスト/週（目的関数）
problem += costX*x[0] + costY*x[1], '全運転コスト'
```

↓

```
# 油田 i の運転コスト/日
costX = Parameter(index=i, value={0: 180, 1: 160}, name='油田運転コスト')

# 運転コスト/週（目的関数）
problem += costX[0]*x[0] + costX[1]*x[1], '全運転コスト'
```

定数の添字付けは、変数の添字付けと同様に `index=i` と指定します。定数の値を要素ごとに指定する場合は Python の辞書で指定します。

では、実行してみましょう（実行方法については [数理計画問題を解く](#) を参照してください）。最適化経過が出力された後、以下のように以前と同様の結果が得られます。：

```
油田の運転日数 [0].val=1.500000000256067
油田の運転日数 [1].val=2.999999999710107
```

次に、重油とガスの製品についても一般に記述してみましょう。定式化において製品集合を導入して製品ノルマを以下のように記述します。

集合

 $Product = \{ \text{重油, ガス} \}$  製品集合

---

定数

 $norma_j, \quad j \in Product$  製品  $j$  のノルマ/週

---

PySIMPLE の記述においても同様に定数の添字付けを用いて表現し、ノルマに関する制約式を以下のように変更します. :

```
# 製品ノルマ
problem += 6*x[0] + x[1] >= 12, '重油ノルマ/週'
problem += 4*x[0] + 6*x[1] >= 24, 'ガスノルマ/週'
```

↓

```
# 製品集合
Product = Set(value=['重油', 'ガス'], name='製品集合')
j = Element(set=Product)

# 製品 j のノルマ/週
norma = Parameter(index=j, value={'重油': 12, 'ガス': 24}, name='製品ノルマ')

# 製品ノルマ
problem += 6*x[0] + x[1] >= norma['重油'], '重油ノルマ/週'
problem += 4*x[0] + 6*x[1] >= norma['ガス'], 'ガスノルマ/週'
```

新たに製品集合の宣言を追加し、ノルマを製品を表す添字  $j$  付きの定数にします. 上記のように文字列を添字に使用する場合は、文字列を `'...'` の中に記述する必要があります.

ここまでの変更をまとめて、集合、変数、定数、制約条件、目的関数を分類し整理すると、定式化と PySIMPLE の記述は次のようになります.

---

## 集合

$OilField = \{0, 1\}$	油田集合
$Product = \{ \text{重油}, \text{ガス} \}$	製品集合

## 定数

$costX_i, \quad i \in OilField$	油田 $i$ の運転コスト/日
$norma_j, \quad j \in Product$	製品 $j$ のノルマ/週

## 変数

$x_i, \quad i \in OilField$	油田 $i$ の運転日数/週
-----------------------------	----------------

## 目的関数（最小化）

$costX_0 \cdot x_0 + costX_1 \cdot x_1$	運転コスト/週
---	---------

## 制約条件

$6x_0 + x_1 \geq norma_{\text{重油}}$	重油ノルマ/週
$4x_0 + 6x_1 \geq norma_{\text{ガス}}$	ガスノルマ/週
$0 \leq x_i \leq 5, \quad \forall i \in OilField$	油田 $i$ の週あたりの運転日数制約

```

from pysimple import Problem, Set, Element, Parameter, Variable

problem = Problem(name='油田問題 3')

# 油田集合
OilField = Set(value=[0, 1], name='油田集合')
i = Element(set=OilField)

# 製品集合
Product = Set(value=['重油', 'ガス'], name='製品集合')
j = Element(set=Product)

# 油田 i の運転コスト/日
costX = Parameter(index=i, value={0: 180, 1: 160}, name='油田運転コスト')

# 製品 j のノルマ/週
norma = Parameter(index=j, value={'重油': 12, 'ガス': 24}, name='製品ノルマ')

# 油田 i の運転日数 (変数)
x = Variable(lb=0, ub=5, index=i, name='油田の運転日数')

print(costX)
print(norma)

# 運転コスト/週 (目的関数)
problem += costX[0]*x[0] + costX[1]*x[1], '全運転コスト'

# 製品ノルマ

```

(次のページに続く)

(前のページからの続き)

```

problem += 6*x[0] + x[1] >= norma['重油'], '重油ノルマ/週'
problem += 4*x[0] + 6*x[1] >= norma['ガス'], 'ガスノルマ/週'

# 求解
print(problem)
problem.solve()

# 結果出力
print(x.val)
print(problem.objective.val)

```

このモデルは PySIMPLE のサンプルとして同梱されています。このサンプルを実行するには次のようにします。:

```
$ python -m pysimple.sample.tutorial oil3
```

## 2.2.4 集約・複数の添字

コスト定義式:

```

# 運転コスト/週 (目的関数)
problem += costX[0]*x[0] + costX[1]*x[1], '全運転コスト'

```

は、すべての油田について運転コストの和をとるという意味なので、これを一般的に記述すると、以下のようになります。

$$\sum_i costX_i \cdot x_i$$

対応する PySIMPLE の記述は、以下のようになります。:

```
Sum(costX[i]*x[i], i)
```

Sum() は  $\sum$  に対応する関数で、:

```
Sum(和をとる式, 添字)
```

の書式を持ちます。

次にノルマ制約についても、Sum() を適用したいと考えますが、旧記述では、:

```

# 製品ノルマ
problem += 6*x[0] + x[1] >= norma['重油'], '重油ノルマ/週'
problem += 4*x[0] + 6*x[1] >= norma['ガス'], 'ガスノルマ/週'

```

と各油田の生産量が直接数値で記述されているので、一般化できません。そこで、定式化において定数  $prodX_{i,j}$  を導入し、制約式を次のように記述します。



## 制約条件

$$\sum_{i \in OilField} prodX_{i,j} \cdot x_i \geq norma_j, \quad \forall j \in Product \quad \text{製品 } j \text{ のノルマ/週の制約式}$$

## 定数

$$prodX_{i,j}, \quad i \in OilField, j \in Product \quad \text{油田 } i \text{ の製品 } j \text{ 生産量/日}$$

$$norma_j, \quad j \in Product \quad \text{製品 } j \text{ のノルマ/週}$$

対応する PySIMPLE の記述は、以下のようになります．：

```
# 油田 i の製品 j 生産量/日
prodXvalue = {(0, '重油'): 6, (0, 'ガス'): 4,
              (1, '重油'): 1, (1, 'ガス'): 6}
prodX = Parameter(index=(i,j), value=prodXvalue, name='油田の生産量')

# 製品ノルマ
problem += Sum(prodX[i,j]*x[i], i) >= norma[j], '製品ノルマ'
```

複数の添字に依存する定数を宣言する際には、`index=(i,j,...)` と指定します．複数の添字に対する値は辞書のキーをタプルにします．

`Sum()` は指定した添字 `i` のみの和をとります．`i,j` について和をとる場合は、`Sum(任意の式, (i,j))` と記述します．

実行結果は以前と同様になります．

ここまでの変更をまとめて、集合、変数、定数、制約条件、目的関数を分類し整理すると、定式化と PySIMPLE の記述は次のようになります．

## 集合

$$OilField = \{0,1\} \quad \text{油田集合}$$

$$Product = \{ \text{重油, ガス} \} \quad \text{製品集合}$$

## 定数

$$costX_i, \quad i \in OilField \quad \text{油田 } i \text{ の運転コスト/日}$$

$$norma_j, \quad j \in Product \quad \text{製品 } j \text{ のノルマ/週}$$

$$prodX_{i,j}, \quad i \in OilField, j \in Product \quad \text{油田 } i \text{ の製品 } j \text{ 生産量/日}$$

## 変数

$$x_i, \quad i \in OilField \quad \text{油田 } i \text{ の運転日数/週}$$

## 目的関数（最小化）

$$\sum_{i \in OilField} costX_i \cdot x_i \quad \text{運転コスト/週}$$

## 制約条件

$$\sum_{i \in OilField} prodX_{i,j} \cdot x_i \geq norma_j \quad \text{製品 } j \text{ のノルマ/週の制約式}$$

$$0 \leq x_i \leq 5, \forall i \in OilField \quad \text{油田 } i \text{ の週あたりの運転日数制約}$$

```
from pysimple import Problem, Set, Element, Parameter, Variable, Sum

problem = Problem(name=' 油田問題 4')

# 油田集合
OilField = Set(value=[0, 1], name=' 油田集合')
i = Element(set=OilField)

# 製品集合
Product = Set(value=[' 重油', ' ガス'], name=' 製品集合')
j = Element(set=Product)

# 油田 i の運転コスト/日
costX = Parameter(index=i, value={0: 180, 1: 160}, name=' 油田運転コスト')

# 製品 j のノルマ/週
norma = Parameter(index=j, value={' 重油': 12, ' ガス': 24}, name=' 製品ノルマ')

# 油田 i の製品 j 生産量/日
prodXvalue = {(0, ' 重油'): 6, (0, ' ガス'): 4,
               (1, ' 重油'): 1, (1, ' ガス'): 6}
prodX = Parameter(index=(i, j), value=prodXvalue, name=' 油田の生産量')

# 油田 i の運転日数 (変数)
x = Variable(lb=0, ub=5, index=i, name=' 油田の運転日数')

print(costX)
print(norma)
print(prodX)

# 運転コスト/週 (目的関数)
problem += Sum(costX[i]*x[i], i), ' 全運転コスト'

# 製品ノルマ
problem += Sum(prodX[i, j]*x[i], i) >= norma[j], ' 製品ノルマ'

# 求解
print(problem)
problem.solve()

# 結果出力
print(x.val)
print(problem.objective.val)
```

このモデルは PySIMPLE のサンプルとして同梱されています。このサンプルを実行するには次のようにします。:

```
$ python -m pysimple.sample.tutorial oil4
```

### 2.2.5 式

ここでは、これまでの結果出力（油田運転日数/週, 全運転コスト）に加えて、各製品の生産量/週も出力してみます。

$$prod_j = \sum_{i \in OilField} prodX_{i,j} \cdot x_i, \forall j \in Product \quad \text{製品 } j \text{ の生産量/週}$$

この式に対応する PySIMPLE の記述は、以下のようになります。：

```
prod = Sum(prodX[i,j]*x[i], i)
prod.name = '製品の生産量'
```

PySIMPLE では式は宣言なしに扱うことができます。name 属性は自動で与えられますが、上記のようにして変更することもできます。また、index も自動で与えられます。上記の場合、i で和をとっているので prod の index は j となります。

次に生産ノルマの記述を見えます。：

```
problem += Sum(prodX[i,j]*x[i], i) >= norma[j], '製品ノルマ'
```

左辺は先ほど定義した prod と全く同じ内容ですので、以下のように左辺を prod に置き換えることができます。

```
problem += prod >= norma[j], '製品ノルマ'
```

prod は単なる置き換えなので、上記のように添字を用いなくても構いませんが、添字を明記することもできます。：

```
problem += prod[j] >= norma[j], '製品ノルマ'
```

次に結果出力部分に以下のように prod を追加します。：

```
print(prod.val)
```

同様に添字を明記する場合は print(prod[j].val) と記述してください。

これで、製品の生産量/週が出力されるようになりました。生産量の出力結果は、以下のようになります。：

```
製品の生産量 [重油].val=12.000000001507413
製品の生産量 [ガス].val=24.000000000850335
```

このモデルは PySIMPLE のサンプルとして同梱されています。このサンプルを実行するには次のようにします。：

```
$ python -m pysimple.sample.tutorial oil5
```

## 2.2.6 整数変数

ここまでは、運転日数を連続変数とみなして解いてきました。しかし実際には油田は1日単位でしか運転できません。そこで、運転日数を1日単位の整数変数とした、整数計画問題を解くことを考えます。そのために、変数（運転日数）の宣言を以下のように変更します。：

```
from pysimple import Problem, Set, Element, Parameter, Variable, Sum
```

↓

```
from pysimple import Problem, Set, Element, Parameter, IntegerVariable, Sum
```

```
# 油田 i の運転日数 (変数)
x = Variable(lb=0, ub=5, index=i, name='油田の運転日数')
```

↓

```
# 油田 i の運転日数 (変数)
x = IntegerVariable(lb=0, ub=5, index=i, name='油田の運転日数')
```

`IntegerVariable` で整数変数を宣言します。整数変数として宣言された変数は、値として整数のみを取ります。以上で変更完了です。

実行すると、以下の結果が得られます。：

```
油田の運転日数 [0].val=2.0
油田の運転日数 [1].val=3.0
製品の生産量 [重油].val=15
製品の生産量 [ガス].val=26
全運転コスト.val=840
```

運転日数が整数になっているのが確認できます。このように変数を `IntegerVariable` で宣言するだけで、整数計画問題を記述することができます。

このモデルは PySIMPLE のサンプルとして同梱されています。このサンプルを実行するには次のようにします。：

```
$ python -m pysimple.sample.tutorial oil6
```

## 2.2.7 結果出力関数

ここまでは、結果の出力には Python の組み込み関数 `print()` を使用してきましたが、PySIMPLE は他にも書式指定出力関数 `Printf()` があります。

```
from pysimple import Problem, Set, Element, Parameter, IntegerVariable, Sum
```

↓

```
from pysimple import Problem, Set, Element, Parameter, IntegerVariable, Sum, Printf
```

```
# 結果出力
print(x.val)
```

↓

```
# 結果出力
Printf('油田 {} の最適運転日数 = {:.0f}', i, x[i].val)
```

対応する実行結果出力は以下のようになります。：

```
油田 0 の最適運転日数 = 2
油田 1 の最適運転日数 = 3
```

関数 `Printf()` の書式指定は、：

```
Printf(出力書式指定, 出力対象 1, 出力対象 2, ...)
```

となります。

出力対象には、変数、式、定数、目的関数、添字、など任意のものを任意の個数だけ指定できます。出力書式指定の指定方法は、`Printf` を確認してください。

このモデルは PySIMPLE のサンプルとして同梱されています。このサンプルを実行するには次のようにします。：

```
$ python -m pysimple.sample.tutorial oil7
```

## 2.2.8 デバッグ出力関数

数理計画モデルが複雑になるほど、些細な記述ミスでも発見が困難になっていきます。そのようなミスを修正するための支援関数としても `print()` 関数や `Printf()` 関数は有効です。

以下のように、`print(problem)` を最適化計算 `problem.solve()` の直前に挿入してみます。

```
print(problem)
problem.solve()
```

上記の位置に記述すれば、最適化計算を行うモデルの内容が出力できます。これを実行すると、`print()` に対応した出力が以下のように得られます。

```
Problem(name=' 油田問題 7', type=min):
[constraints]
製品ノルマ:
6*油田の運転日数 [0]+ 油田の運転日数 [1]>=12
4*油田の運転日数 [0]+6*油田の運転日数 [1]>=24

[objective]
全運転コスト:
180*油田の運転日数 [0]+160*油田の運転日数 [1]
```

3～5 行目は次のノルマ制約式に対応しています。:

```
problem += prod >= norma[j], ' 製品ノルマ'
```

7 行目以降は次のコスト定義式に対応しています。:

```
problem += Sum(costX[i]*x[i], i), ' 全運転コスト'
```

以下のように特定の制約式や目的関数のみを表示することもできます。:

```
print(problem[' 製品ノルマ'])
print(problem.objective)
```

このように、`print()` を使用することによって、定数値、添字等を実際の値に置き換えた後の目的関数・制約式を確認することができます。この機能を利用すれば、意図しない記述ミスを簡単に発見することができ、効率の良いモデル記述が可能になります。

## 第 3 章

# ユーザガイド

### 3.1 PySIMPLE の基本事項

#### 3.1.1 モデリング言語 PySIMPLE とは

PySIMPLE はシステムの記述をなるべく人間に馴染みのある数学的な記述方法で簡単に行ない、実際のシミュレータやソルバなどが認識できるような表現に翻訳して所要の解析を行うことを目的とします。

PySIMPLE はプログラミング言語 Python を用いて実装されています。PySIMPLE を用いるに際して Python の知識を特別必要とすることはありませんが、一部 Python を理解していないと利用が難しい機能もあります。

#### 3.1.2 PySIMPLE の構成

最適化パッケージソフト Nuorium Optimizer のインターフェースとして PySIMPLE をご利用いただく場合、以下の構成となります。

- PySIMPLE（数理計画問題を記述するためのモデリング言語）
- Nuorium Optimizer（数理計画問題を解くための求解ソルバ）

本マニュアルで Nuorium Optimizer と呼ぶ場合、上記二つをまとめたソフト全体を指すケースと、後者の求解ソルバのみを指すケースがありますのでご注意ください。

### 3.1.3 PySIMPLE の利用法

PySIMPLE を用いて Nuorium Optimizer をご利用いただく場合、コマンドライン等の Python を起動させる方法にて実行させます。コマンドラインによる実行方法は [数理計画問題を解く](#) をご覧ください。

### 3.1.4 PySIMPLE の処理の流れ

*PySIMPLE の利用法* で取り上げたコマンドラインでの処理の流れを説明します。

1. PySIMPLE で数理計画問題（モデル）を記述
2. モデルを Python のスクリプトとして実行

数理計画問題（モデル）の記述はテキストエディタをご利用ください。

また、ファイル名には Windows のファイル名として使える文字が使用できますが、通常は半角英数字および半角アンダースコア（`_`）程度にしておきましょう。

### 3.1.5 ファイルの文字コード指定について

Python3 ではソースコードのデフォルトエンコーディングは UTF-8 なので、ソースコード中に Unicode 文字をそのまま含めることができます。

ソースコードの文字コードが UTF-8 でない場合、Python はソースコードの解釈に失敗することがあります。例えば、ソースコードの文字コードが shift\_jis である場合、次のようなエラーが出ます。：

```
SyntaxError: Non-UTF-8 code starting with '...' in file ...
```

これはソースコードを UTF-8 として解釈しようとしているためです。このような場合、次のような特殊な形式のコメントをソースコードの 1 行目もしくは 2 行目に配置することで、UTF-8 ではないエンコーディングを使うことができます。：

```
# -*- coding: shift_jis -*-
```

詳細は Python のソースコードの文字コードをご確認ください。



## 3.2 Python の基本事項

PySIMPLE を利用するに当たって、基本となる Python の文法を簡単に説明します。Python の詳細な文法については [公式マニュアル](#) をご確認ください。

### 3.2.1 数値，文字列

整数型の `int`，浮動小数点型の `float`，文字列型の `str` などが存在します。文字列における「`'`」と「`"`」は同じです。：

```
>>> 2 + 3
5
>>> 'ほげ'
'ほげ'
>>> "ほげ"
'ほげ'
```

半角空白文字（半角スペース）と改行はモデル中では任意に用いる事ができます。全角空白文字（全角スペース）を用いる事はできません。

「`#`」から行末まではコメントになります。：

```
>>> 3.14 # 円周率
3.14
```

「変数名= オブジェクト」でオブジェクトを保持する変数を作成します。一度作成した変数に再度、異なるオブジェクトを代入することもできます。：

```
>>> x = 3.14
>>> x
3.14
>>> x = 'pi'
>>> x
'pi'
```

### 3.2.2 データ構造

#### リスト

リストは様々なオブジェクト含むことができるデータ構造です。[ と ] で囲んで、で要素を並べます。：

```
>>> lst = [3, 'spam', 3.14, [0, 'ham']]
>>> lst
[3, 'spam', 3.14, [0, 'ham']]
```

リストに対して `[index]` で `index` 番目の要素を取り出したり、修正することができます。ただし、最初の要素を 0 番目と数えます. . :

```
>>> lst[1]
'spam'
>>> lst[1] = 'egg'
>>> lst[1]
'egg'
```

### タプル

タプルはリストと似ていますが、値を変えることができません。

```
>>> tpl = (3, 'spam', 3.14, [0, 'ham'])
>>> tpl[1]
'spam'
>>> tpl[1] = 'egg'
Traceback (most recent call last):
  File "<stdin>", line 1, in <module>
TypeError: 'tuple' object does not support item assignment
```

タプルはリストと異なり `()` で囲む必要がない場合もありますが、慣れない内は括弧を付けるようにしておきましょう。また、リストとタプルは `list` 関数, `tuple` 関数によりそれぞれ相互変換できます. . :

```
>>> tpl = (1, 2, 3)
>>> lst = list(tpl)
>>> lst
[1, 2, 3]
>>> tuple(list(tpl))
(1, 2, 3)
```

### 辞書

辞書は対応付けのためのデータ構造です。キー と 値 を `:` で挟み, `,` で並べて `{` と `}` で囲みます. . :

```
>>> dct = {'spam': 1, 'ham': 2}
>>> dct['ham']
2
```

この場合、キーは `'spam'` と `'ham'`, 値は 1 と 2 です。次の例はもう少し複雑で、キーがタプルになっています. . :

```
>>> dct = {(1, 2): 3, (1, 3): 4}
>>> dct[(1, 3)]
4
```

(次のページに続く)

(前のページからの続き)

```
>>> dct[1,3]
4
```

dict 関数を用いることでタプルの列から辞書を作ることができます. :

```
>>> dct = dict([('X', 1), ('Y', 2), ('Z', 3)])
>>> dct
{'X': 1, 'Y': 2, 'Z': 3}
```

### 3.2.3 組み込み関数

最初から使うことのできる関数は他にもいろいろあります. ここでは PySIMPLE を記述する上で有用なものを幾つか紹介します.

#### print, help, dir

print 関数は何でも表示してくれます. インタプリタでは明示的に記述しなくても大丈夫ですが, ファイルに記述する場合は, 表示させたい箇所に print 関数を挟みましょう. :

```
x = 2
x = x + 3
print(x) # 5
```

help 関数はオブジェクトの使い方を教えてくれます. print 関数の使い方を見てみましょう. :

```
>>> help(print)
Help on built-in function print in module builtins:

print(...)
    print(value, ..., sep=' ', end='\n', file=sys.stdout, flush=False)

    Prints the values to a stream, or to sys.stdout by default.
    Optional keyword arguments:
    file: a file-like object (stream); defaults to the current sys.stdout.
    sep:   string inserted between values, default a space.
    end:   string appended after the last value, default a newline.
    flush: whether to forcibly flush the stream.
```

dir 関数は属性のリストを返します. リストの属性一覧を見てみましょう. :

```
>>> lst = [1, 2]
>>> dir(lst)
['__add__', ..., 'append', ...]
```

`append` という属性を持っていることが分かります。この使い方を調べて実際に使ってみましょう。属性はオブジェクトに対して `.` で続けます。:

```
>>> help(lst.append)
Help on built-in function append:

append(...) method of builtins.list instance
    L.append(object) -> None -- append object to end

>>> lst.append(3)
>>> lst
[1, 2, 3]
```

`help` のとおり要素が追加されました。

## **range**

`range` 関数は等差数列を作るための関数です。`range(stop)` で 0 から `stop-1` までの等差数列を、`range(start, stop)` で `start` から `stop-1` までの等差数列を作ります。:

```
>>> list(range(5))
[0, 1, 2, 3, 4]
>>> list(range(2, 5))
[2, 3, 4]
```

## **zip**

`zip` 関数を使うと 2 つのリスト等から辞書をつくる時に便利です。:

```
>>> list(zip(['X', 'Y', 'Z'], [1, 2, 3]))
[('X', 1), ('Y', 2), ('Z', 3)]
>>> dict(zip(['X', 'Y', 'Z'], [1, 2, 3]))
{'X': 1, 'Y': 2, 'Z': 3}
```

`zip` 関数は引数それぞれの 1 番目, 2 番目...を取り出した列を作ります。

## **3.3 数理計画モデルの構成要素**

以下は PySIMPLE を用いて数理計画モデルを記述する際の構成要素の一覧です。ここでは全ての構成要素を列挙してはいませんが、大半の数理計画モデルは以下の構成要素の組合せで記述することができます。

構成要素名	PySIMPLE 内の名称	機能
問題	Problem	問題を表す
集合	Set	添字の動く範囲を表す
添字	Element	添字を表す
定数	Parameter	定数を表す
変数	Variable	変数を表す
式		頻出する数式に対して、簡単な別の表現を与える
制約式	Constraint	制約式を表す
ハード制約関数	HardConstraint	ハード制約を表す
セミハード制約関数	SemiHardConstraint	セミハード制約を表す
ソフト制約関数	SoftConstraint	ソフト制約を表す
整数変数	IntegerVariable	整数変数を表す
0-1 整数変数	BinaryVariable	0-1 整数変数を表す
範囲演算関数	Sum, Prod	$\sum$ や $\prod$ に相当する
選択関数	Selection	限定選択を表す
条件式		制約式や代入文を制限する
数学関数	Exp, Sin, Cos, Log ...	数学関数を表す

### 3.3.1 問題クラス Problem

問題は **Problem** というクラスで表現されます. :

```
problem = Problem(type=min)
```

問題を定義する際には `type` キーワードに `min` あるいは `max` を指定することができます. これはそれぞれ扱う数理計画問題が最小化問題, 最大化問題であることを意味します. この `type=` を省略した場合, 自動的に最小化問題であると見做されます.

問題に対し, `+=` 式を行うと目的関数と見做されます. :

```
x = Variable()
problem = Problem(type=min)
problem += 2*x
```

カンマで区切って文字列を与えることにより目的関数に名前をつけることもできます. :

```
problem += 2*x, '目的関数'
```

問題の目的関数は `objective` 属性でアクセスすることができます. :

```
print(problem.objective)
```

問題に対し, += 制約式 を行うと制約式の追加と見做されます. :

```
problem += 2*x >= 0
```

カンマで区切って文字列を与えることにより制約式に名前をつけることもできます. :

```
problem += 2*x >= 0, '制約式 1'
```

問題の制約式は 問題 [制約式名] でアクセスすることができます. :

```
print(problem['制約式 1'])
```

目的関数に添字をつける事はできません. 例えば, 以下の記述は誤りです. :

```
i = Element(value=[1,2])
x = Variable(index=i)
problem = Problem(type=min)
problem += 2*x[i]
```

目的関数を複数設定することはできません. 例えば, 以下の記述は誤りです. :

```
x = Variable()
problem = Problem(type=min)
problem += 2*x
problem += 3*x + 1
```

### solve 関数

求解 (最適解計算の実行) を行うには solve メソッドを呼び出します. :

```
problem.solve()
```

solve 関数の前に変数や式の値を出力させると, 求解前の初期状態の情報が記述されます. 例えば, 次のモデルに対する出力は以下のようになります. :

```
p = Problem(type=min)
i = Element(value=[1, 2, 3])
x = Variable(index=i)
p += Sum(2*x[i])
p += x[i] >= 5
x[i] = 10
print(x.val) # 10
```

(次のページに続く)

(前のページからの続き)

```
p.solve(silent=True)
print(x.val) # 5
```

出力:

```
x[1].val=10
x[2].val=10
x[3].val=10
x[1].val=5.000000020802062
x[2].val=5.000000020802062
x[3].val=5.000000020802062
```

`solve` 関数は、デフォルトでは標準出力に求解情報を表示し、解ファイル（モデル名.sol）を作成しません。標準出力による求解情報の表示を抑制するには、問題の宣言時か求解時に `silent` キーワードを記述します。:

```
p = Problem(silent=True)
```

```
p = Problem()
p.solve(silent=True)
```

求解時の設定は問題宣言時の設定に優先され、また一時的です。

解ファイルを出力するには `solfile` キーワードを記述します。解ファイル、及び実行不可能性要因検出機能については [実行不可能性要因検出機能](#) をご確認ください。:

```
p = Problem(solfile=True)
```

```
p = Problem()
p.solve(solfile=True)
```

その他の求解時の制御については [求解オプション](#) をご確認ください。

### 最適化計算結果 result

最適化計算の結果は `result` メンバが保持しています。一覧は `pysimple.problem.Result` を確認してください。以下は最適化計算結果を出力する記述例です。:

```
x = Variable()
y = Variable()
p = Problem()
p += 2*x + 3*y
p += x + 2*y == 15
p += x >= 0
p += y >= 0
```

(次のページに続く)

(前のページからの続き)

```

p.solve(silent=True)
print(p.result)
Printf('関数の数          {}', p.result.nfunc)
Printf('内点法の反復回数 {}', p.result.iters)
Printf('関数評価回数      {}', p.result.fevals)
Printf('目的関数値        {}', p.result.optValue)
Printf('収束判定条件      {}', p.result.tolerance)
Printf('最適性条件残差    {}', p.result.residual)
Printf('所要計算時間      {}', p.result.elapsedTime)
Printf('終了時ステータス {}', p.result.errorCode)

```

出力:

```

errorMessage      : []
method            : higher
optValue          : 22.50000000376254
errorCode         : 0
nvars            : 2
nfunc            : 4
iters            : 6
fevals           : 9
factCount        : 7
tolerance         : 1e-08
residual          : 3.762538162000488e-09
elapsedTime       : 0.004999995231628418
infeasibility     : -1.0
consInfeasibility: -3.552713678800501e-15
varInfeasibility : 0.0
hardPenalty       : None
semiHardPenalty   : None
softPenalty       : None
関数の数          4
内点法の反復回数 6
関数評価回数      9
目的関数値        22.50000000376254
収束判定条件      1e-08
最適性条件残差    3.762538162000488e-09
所要計算時間      0.004999995231628418
終了時ステータス 0

```



### 3.3.2 集合クラス Set

集合は `Set` というクラスで表現されます。

集合は `value` キーワードを用いて宣言します。PySIMPLE の集合はすべて順序集合です。また、集合の要素を宣言後に変更することはできません。

以下の例では、自然数 1, 2, 3 を要素とする集合 `S` を定義しています。:

```
S = Set(value=[1, 2, 3])
```

集合の要素が等差数列である場合は `range` 関数が便利です。以下の例では、自然数 1, 2, 3 を要素とする集合 `S` を定義しています。:

```
S = Set(value=range(1, 4))
```

添字クラス `Element` と併用することで、変数クラス `Variable`、制約式クラス `Constraint`、定数クラス `Parameter`、整数変数クラス `IntegerVariable`、0-1 整数変数クラス `BinaryVariable`、式クラスを集合の要素ごとに設定できます。以下の例では 3 個の変数 `y[1]`, `y[2]`, `y[3]`, 3 個の定数 `b[1]`, `b[2]`, `b[3]` を定義しています。:

```
S = Set(value=[1, 2, 3])
i = Element(set=S)
y = Variable(index=i)
b = Parameter(index=i)
```

集合の要素には自然数だけでなく、文字列も使用することができます。以下の例では 2 個の整数変数 `z['p']`, `z['q']`, 2 個の式 `g['p']`, `g['q']` を定義しています。:

```
T = Set(value=['p', 'q'])
j = Element(set=T)
z = IntegerVariable(index=j)
g = 2*x[j] + 3*y[j]
```

要素の文字列は必ずしも一文字である必要はありません。:

```
T = Set(value=['before', 'after'])
```

要素の文字列が一文字である場合は直接記述することもできます。:

```
T = Set(value='pq') # Set(value=['p', 'q']) と同じ
```

集合の要素に文字列を使用した場合は、対象を個別に記述する際に、添字部分にクォート ' またはダブルクォート " を用いる必要があります。:

```
-1 <= z['p']
```

一括して記述する場合にはクォートでまたはダブルクォートで囲んではいけません. :

```
-1 <= z[j]
```

ある集合に対して定義された添字は, その部分集合に対しても自動的に定義されます.

添字を部分集合のみ (あるいは部分集合以外) で走らせたい場合は, 集合と添字の包含関係を表す演算子  $<$ ,  $>$  を利用します. 以下の例では, 定数  $a[1]$ ,  $a[2]$  に  $-1$  を,  $a[3]$  に  $1$  を設定しています. :

```
S = Set(value=[1, 2, 3])
T = Set(value=[1, 2])
i = Element(set=S)
a = Parameter(index=i)
a[i<T] = -1 # i が T に含まれる場合
a[i>T] = 1  # i が T に含まれない場合
```

多次元集合 (要素の組の集合) を定義することもできます. 以下の例では, 二次元の添字をもつ変数  $x$  を定義しています. 各次元のすべての組み合わせについて変数を定義したいわけではない場合などに, 多次元集合を使用します. :

```
IJ = Set(value=[('a', 1), ('b', 2)])
ij = Element(set=IJ)
x = Variable(index=ij) # x['a',1] と x['b',2] が定義される
x[ij] >= 0             # x['a',1] と x['b',2] に下限を設定する
```

集合の要素数を取得するには, `len` 関数を使用します. 以下の例では,  $n$  に集合  $S$  の要素数を格納しています. :

```
n = len(S)
```

集合に順序がついていることを利用すると漸化式や漸化不等式を取り扱うことが可能です.

次の例では漸化不等式  $x_p \leq x_q, x_q \leq x_r, x_r \leq x_s$  を記述しています. :

```
S = Set(value=['p', 'q', 'r', 's'])
i = Element(set=S)
x = Variable(index=i)
i1 = i != S[-1]
x[i1] <= x[S.next(i1)]
```

最後の条件式  $i \neq S[-1]$  は  $i='s'$  の場合を除外するためです. 集合 `[index]` で集合の `index` 番目の要素を取り出します. `-1` は最後の要素を表します. 上記の例では `next` 関数を利用しましたが, 以下のように `prev` 関数を利用することもできます. :

```
i0 = i != S[0]
x[S.prev(i0)] <= x[i0]
```

集合の要素が整数の場合は, 次のように `next` や `prev` を用いない記述も可能です. :

```
S = Set(value=[1, 2, 3, 4])
i = Element(set=S)
x = Variable(index=i)
i4 = i != 4
x[i4] <= x[i4+1]
```

同様に次の記述も可能です. :

```
i1 = i != 1
x[i1-1] <= x[i1]
```

整数以外の要素からなる集合を利用する場合, 条件式において  $i+1$ ,  $i-1$  等の要素間の演算が使用できない事が, `next`, `prev` に頼らざるを得ない主な理由です.

次の例では, 定数  $a[p]$ ,  $a[q]$ ,  $a[r]$  にそれぞれ 0, 2, 4 (2 ずつ増加) を設定します.

```
S = Set(value=['p', 'q', 'r'])
i = Element(set=S)
a = Parameter(index=i)
a[i] = 2*S.index(i)
```

以下のように記述しても同じ意味です. :

```
S = Set(value=['p', 'q', 'r'])
i = Element(set=S)
a = Parameter(index=i)
p = Element(value=range(len(S)))
a[S[p]] = 2*p
```

集合の要素が整数である場合は, 次のように `index` や `[]` を用いない記述も可能です. 以下の例では, 定数  $a[1]$ ,  $a[2]$ ,  $a[3]$  にそれぞれ 2, 4, 6 (2 ずつ増加) を設定します. :

```
S = Set(value=[1, 2, 3])
i = Element(set=S)
a = Parameter(index=i)
a[i] = 2*i
```

### 3.3.3 添字クラス Element

添字は `Element` というクラスで表現されます. 添字とは数式  $x_i$  の  $i$  に相当するものを意味します. 添字と集合を対応させるには, キーワード引数 `set` を用います. 頭文字の `s` は小文字である事に注意してください. 添字を用いることで 変数クラス `Variable`, 制約式クラス `Constraint`, 定数クラス `Parameter`, 整数変数クラス `IntegerVariable`, 0-1 整数変数クラス `BinaryVariable`, 式クラス を要素ごとに設定できます. 以下の例では, 3 個の変数  $y[1]$ ,  $y[2]$ ,  $y[3]$ , 3 個の定数  $b[1]$ ,  $b[2]$ ,  $b[3]$  を定義しています. :

```
S = Set(value=[1, 2, 3])
i = Element(set=S)
y = Variable(index=i)
b = Parameter(index=i)
```

`Element` の `value` キーワードを用いることにより、集合を経由せずに直接添字を定義することもできます。次の例は、上の記述と同じ意味です。:

```
i = Element(value=[1, 2, 3])
y = Variable(index=i)
b = Parameter(index=i)
```

添字のキーワード引数 `index` には `Element` を指定するかわりに、その `Element` に対応する `Set` を指定することもできます。次の例は、上の記述と同じ意味です。:

```
S = Set(value=[1, 2, 3])
y = Variable(index=S)
b = Parameter(index=S)
```

添字は複数導入することも可能です。次の例では 6 個の変数 `x[1,'p']`, `x[1,'q']`, `x[2,'p']`, `x[2,'q']`, `x[3,'p']`, `x[3,'q']` を定義しています。:

```
S = Set(value=[1, 2, 3])
T = Set(value=['p', 'q'])
i = Element(set=S)
j = Element(set=T)
x = Variable(index=(i, j))
```

一つの集合に対して複数の添字を定める事もできます。次の例では 12 個の定数 `a[1,'p','p']`, `a[1,'p','q']`, `a[1,'q','p']`, `a[1,'q','q']`, `a[2,'p','p']`, `a[2,'p','q']`, `a[2,'q','p']`, `a[2,'q','q']`, `a[3,'p','p']`, `a[3,'p','q']`, `a[3,'q','p']`, `a[3,'q','q']` を定義しています。集合 `T` に対して 2 つの添字 `j, k` が定められています。:

```
S = Set(value=[1, 2, 3])
T = Set(value=['p', 'q'])
i = Element(set=S)
j = Element(set=T)
k = Element(set=T)
a = Parameter(index=(i, j, k))
```

添字を持つ対象を個別に記述する場合は、文字列の部分のみを個別にクォート ' またはダブルクォート " で囲む必要があります。:

```
x[1, 'p', 'q']
```

次の例はいずれも誤りです。:

```
x['l', 'p', 'q']
x[l, 'p, q']
```

以下のようにクォートで囲まないと添字は自動展開され、一括して扱われます。（添字の自動展開機能）：

```
x[i, j, k] >= 1
```

添字は、属する集合が整数値を取る場合には次のような演算子を用いることができます。

+	（加算）	-	（減算）	*	（乗算）	%	（剰余）
/	（浮動小数除算）	//	（整数除算）	**	（幂）		

次の例では、定数  $a[1]$ ,  $a[2]$ ,  $a[3]$  に値 2, 4, 6 を設定しています。：

```
i = Element(value=[1, 2, 3])
a = Parameter(index=i)
a[i] = 2*i
```

次の例では、制約式  $x_2 + x_4 + x_6 \leq 5$  を記述しています。制約式の左辺を定義するために偶数番目の項のみの和を取得しています。：

```
i = Element(value=[1, 2, 3, 4, 5, 6])
x = Variable(index=i)
ieven = i%2==0
Sum(x[ieven], ieven) <= 5
```

次の例では、漸化不等式  $x_i \leq x_{i+1}$  を定義しています。：

```
i = Element(value=[1, 2, 3, 4])
x = Variable(index=i)
i4 = i!=4
x[i4] <= x[i4+1]
```

### 3.3.4 定数クラス Parameter

定数は **Parameter** というクラスで表現されます。具体的に  $a$  という定数を定義するには以下のように記述します。：

```
a = Parameter()
```

複数の定数を一度に定義するには、`index` キーワードと添字クラス **Element** を用います。以下の例では、3 個の定数  $b[1]$ ,  $b[2]$ ,  $b[3]$  を一度に定義しています。：

```
i = Element(value=[1, 2, 3])
b = Parameter(index=i)
```

以下の例では、6 個の定数 `c[1,'p']`, `c[1,'q']`, `c[2,'p']`, `c[2,'q']`, `c[3,'p']`, `c[3,'q']` を一度に定義しています. . :

```
i = Element(value=[1, 2, 3])
j = Element(value=['p', 'q'])
c = Parameter(index=(i, j))
```

定数の値は `=` で設定します. 定数の値を明示的に指定しない場合は、自動的に 0 が設定されます. 以下の例では定数 `b[1]`, `b[2]`, `b[3]` に 5 をまとめて設定しています. . :

```
b[i] = 5
```

`value` キーワードを用いて宣言と同時に値を設定することもできます. . :

```
b = Parameter(index=i, value=5)
```

宣言時に個別に値を設定する場合は辞書を使います. 以下の二表現は同様の意味を持ちます. . :

```
b = Parameter(index=i)
b[1] = 10
b[2] = 20
b[3] = 30
```

```
b = Parameter(index=i, value={1: 10, 2: 20, 3: 30})
```

複数の引数を持たせる場合、順序は任意です. 以下の二表現は同様の意味を持ちます. . :

```
b = Parameter(index=i, value=5)
```

```
b = Parameter(value=5, index=i)
```

添字がない定数の場合は後から値を変えることはできません. 以下ではオブジェクト `a` は定数型の後に Python の `int` 型になってしまいます. . :

```
a = Parameter()
a = 1 # NG. a = Parameter(value=1) とすること
```

### 3.3.5 変数クラス Variable

変数は `Variable` というクラスで表現されます．具体的に `x` という変数を定義するには以下のように記述します．：

```
x = Variable()
```

複数の変数を一度に定義するには，`index` キーワードと添字クラス `Element` を用います．以下の例では，3 個の変数 `y[1]`, `y[2]`, `y[3]` を一度に定義しています．：

```
i = Element(value=[1, 2, 3])
y = Variable(index=i)
```

変数の初期値は `=` で設定できます．以下の例では `y[1]`, `y[2]`, `y[3]` に初期値 5 をまとめて設定しています．：

```
y[i] = 5
```

`init` キーワードを用いて宣言と同時に初期値を設定することもできます．：

```
y = Variable(index=i, init=5)
```

宣言時に個別に値を設定する場合は辞書を使います．以下の二表現は同様の意味を持ちます．：

```
y = Variable(index=i)
y[1] = 10
y[2] = 20
y[3] = 30
```

```
y = Variable(index=i, init={1: 10, 2: 20, 3: 30})
```

明示的な指定が無い場合，変数の初期値はアルゴリズムに応じて自動的に決定されます．アルゴリズムによっては初期値の設定を無視します．

複数の引数を持たせる場合，順序は任意です．以下の二表現は同様の意味を持ちます．：

```
y = Variable(index=i, init=5)
```

```
y = Variable(init=5, index=i)
```

`lb` キーワード引数，`ub` キーワード引数を用いて宣言時に変数の下限値，上限値を設定することもできます．：

```
z = Variable(index=i, lb=0, ub={1: 5, 2: 3, 3: 4})
```

### 3.3.6 式 クラス

式は演算結果を代入によって保持することで利用できます。例えば、 $2x + 3y$  という式を定義したい場合、次のように記述します。：

```
x = Variable()
y = Variable()
g = 2*x + 3*y
```

以下の例では、3 個の式  $g[1]$ ,  $g[2]$ ,  $g[3]$  を一度に定義しています。：

```
i = Element(value=[1, 2, 3])
x = Variable(index=i)
y = Variable(index=i)
g = 2*x[i] + 3*y[i]
```

式の宣言では左辺に括弧は不要です。以下の記述は誤りです。：

```
g[i] = 2*x[i] + 3*y[i]
```

式に明示的に名前を付けるには以下のようにします。：

```
g = 2*x[i] + 3*y[i]
g.name = 'g'
```

上のように定義した式を使用する場合は  $g$  または  $g[i]$  とします。式はあくまで置き換えであるので以下の表現はいずれも同様の意味を持ちます。：

```
f = 2*x[i] + 3*y[i] + 4
```

```
g = 2*x[i] + 3*y[i]
f = g + 4
```

```
g = 2*x[i] + 3*y[i]
f = g[i] + 4
```

式を使う事によりモデルの記述を簡略化することができます。同じ式が何度も出現するモデルにおいて特に有効です。

SIMPLE のように式の宣言はできません。



### 3.3.7 制約式クラス Constraint

制約式は `Constraint` というクラスで表現されます。PySIMPLE で表現可能な制約式は、等式制約（`==` を使用）及び等号付不等式制約（`<=`, `>=` を使用）の二種類です。等式制約に用いる演算子は `=` ではなく、`==` であることに注意してください。具体的に  $x + y = 1$  という制約式を定義するには次のように記述します。

```
x + y == 1
```

$x - 2y \leq 0$  という制約式を定義するには次のように記述します。：

```
x - 2*y <= 0
```

等号の付かない不等式を取り扱う事はできません。次の記述は誤りです。：

```
x - 2*y < 0
```

複数の制約式を一度に定義するには、添字クラス `Element` を用います。以下の例では、3 個の制約式  $x_1 - 2y_1 \leq 0$ ,  $x_2 - 2y_2 \leq 0$ ,  $x_3 - 2y_3 \leq 0$  を一度に定義しています。：

```
i = Element(value=[1, 2, 3])
x = Variable(index=i)
y = Variable(index=i)
x[i] - 2*y[i] <= 0
```

不一致制約を表す演算子 `!=` を用いることはできません。以下の記述は誤りです。：

```
x + y != -1
```

### 3.3.8 制約式種

全ての制約式は次の 3 つの種類に分類されます。

- ハード制約式 (通常)
- セミハード制約式
- ソフト制約式

ハード制約式とは、最も優先して満たすべき制約式（必ず満たさなければならない制約式）のことです。制約式種を指定しない場合はハード制約となります。

セミハード制約式とは、ハード制約式の次に優先して満たすべき制約式のことです。通常、必ず満たさなければならない制約式の一部をセミハード制約式とし、実行不可能性の原因をセミハード制約に押し付けるという使い方をします。

セミハード制約は `wcsp` のみで有効です。他のアルゴリズムにおいてはセミハード制約はエラーあるいはハード制約として解釈されます。

ソフト制約式は、優先度がもっとも低く、必ずしも満たす必要はないが、できるだけ満たして欲しい制約式のことです。その際、ソフト制約式は、各制約式の違反量からペナルティ量を計算し、その総ペナルティ量が最も小さくなることをもってできるだけ制約式を満たしたと解釈します (計算方法は後述)。

ソフト制約は `wcsp/wls/simplex/asqp` のみで有効です。他のアルゴリズムにおいてはソフト制約はハード制約として解釈されます。

問題クラス・解法と制約種の対応は次のようになります。

制約式種	LPQP	wcsp	wls
ハード制約	○	○	○
セミハード制約	△※ 1 ※ 2	○	○※ 2
ソフト制約	△※ 1	○	○

※ 1 一部の解法のみ ※ 2 `HardConstraint` 扱い

### ハード制約関数 `HardConstraint`

制約がハード制約式であることを指定するには制約に続いてカンマで区切って `HardConstraint` 関数を用います。:

```
problem += z[i] >= 1, HardConstraint()
```

制約式種を指定しない場合、ハード制約と認識されるため、以下の表現はいずれも同様の意味を持ちます。:

```
problem += z[i] >= 1
problem += z[i] >= 1, HardConstraint()
problem += z[i] >= 1, SoftConstraint(-1) # 後述
```

また、制約式に名前を付ける場合、制約式種と名前の順序は任意です。以下の表現はいずれも同様の意味を持ちます。:

```
problem += z[i] >= 1, 'cons'
problem += z[i] >= 1, HardConstraint(), 'cons'
problem += z[i] >= 1, 'cons', HardConstraint()
```

### セミハード制約関数 **SemiHardConstraint**

制約がセミハード制約式であることを指定するには制約に続いてカンマで区切って **SemiHardConstraint** 関数を用います. :

```
problem += z[i] >= 1, SemiHardConstraint()
problem += z[i] >= 1, SoftConstraint(-2)  # 同じ. 後述
```

### ソフト制約関数 **SoftConstraint**

制約がソフト制約式であることを指定するには制約に続いてカンマで区切って **SoftConstraint** 関数を用います. :

```
problem += z[i] >= 1, SoftConstraint(1)
```

**SoftConstraint** 関数は引数により制約式の違反量の計算パラメータの設定もできます. :

```
def SoftConstraint(weight: int, quad=None: float, linear=None: float):
```

- **weight**: 重みの基本となる値. 非負整数または -1 または -2. -1, -2 はそれぞれ **HardConstraint**, **SemiHardConstraint** を表す
- **quad**: 重みの二次の係数. 非負値.
- **linear**: 重みの一次の係数. 非負値.

制約式 **cons** が制約を満たしていない (**cons.violation**>0) の場合, ソフト制約のペナルティ **penalty** は以下で定義されます. :

```
v = cons.violation
penalty = (quad*v**2 + linear*v) * weight  # wcsp
penalty = v * weight  # wcsp 以外
```

また, **SoftConstraint** 関数の第 2 引数と第 3 引数は省略することができ, 次のような規則により解釈されます. :

```
# 第 2, 3 引数の省略
SoftConstraint(weight) == SoftConstraint(weight, 0, 1)  # penalty = v*weight と等価
# 第 3 引数の省略
SoftConstraint(weight, quad) == SoftConstraint(weight, quad, 0)  # penalty = quad*v**2 +
↪ * weight と等価
```

このペナルティ値は **weight** 属性と **violation** 属性の積で計算できます. :

```
z = BinaryVariable()
problem = Problem()
problem += z >= 1, 'cons1', SoftConstraint(3)  # penalty = 1 * 3
```

(次のページに続く)

(前のページからの続き)

```
problem += z >= 1, 'cons2', SoftConstraint(3, 2)      # penalty = 2*1**2 * 3
problem += z >= 1, 'cons3', SoftConstraint(3, 2, 1)   # penalty = (2*1**2 + 1*1) * 3
for cons in problem.constraints.values():
    print(cons.weight*cons.violation)
```

### 3.3.9 整数変数クラス IntegerVariable

整数変数は `IntegerVariable` というクラスで表現されます。具体的に `x` という整数変数を定義するには以下のように記述します。：

```
x = IntegerVariable()
```

以下のように書いても同じです。：

```
x = Variable(type=int)
```

複数の整数変数を一度に定義するには、添字クラス `Element` を用います。以下の例では、3 個の整数変数 `y[1]`, `y[2]`, `y[3]` を一度に定義しています。：

```
i = Element(value=[1, 2, 3])
y = IntegerVariable(index=i)
```

複数の引数を持たせる場合、順序は任意です。以下の二表現は同様の意味を持ちます。：

```
z = Variable(type=int, index=i)
```

```
z = Variable(index=i, type=int)
```

### 3.3.10 0-1 整数変数クラス BinaryVariable

0-1 整数変数は `BinaryVariable` というクラスで表現されます。具体的に `x` という整数変数を定義するには以下のように記述します。：

```
x = BinaryVariable()
```

以下のように書いても同じです。：

```
x = Variable(type=bin)
```

複数の 0-1 整数変数を一度に定義するには、添字クラス `Element` を用います。以下の例では、3 個の 0-1 整数変数 `y[1]`, `y[2]`, `y[3]` を一度に定義しています。：

```
i = Element(value=[1, 2, 3])
y = BinaryVariable(index=i)
```

複数の引数を持たせる場合、順序は任意です。以下の二表現は同様の意味を持ちます。：

```
z = Variable(type=bin, index=i)
```

```
z = Variable(index=i, type=bin)
```

### 3.3.11 範囲演算関数 Sum, Prod

数式における  $\sum$  や  $\prod$  に類する機能として、PySIMPLE では範囲演算関数として、Sum 関数と Prod 関数が提供されています。次の例では、制約式  $\sum_{i=1}^3 x_i = 10$  を記述しています。：

```
i = Element(value=[1, 2, 3])
x = Variable(index=i)
Sum(x[i], i) == 10
```

上の記述を Sum 関数を使わずに書くと次のようになります。：

```
i = Element(value=[1, 2, 3])
x = Variable(index=i)
x[1] + x[2] + x[3] == 10
```

次の例では、制約式  $(\prod_{i=1}^3 a_i)x = 20$  を記述しています。：

```
i = Element(value=[1, 2, 3])
a = Parameter(index=i)
x = Variable()
Prod(a[i], i)*x == 20
```

上の記述を Prod 関数を使わずに書くと次のようになります。：

```
i = Element(value=[1, 2, 3])
a = Parameter(index=i)
x = Variable()
a[1]*a[2]*a[3]*x == 20
```

複数の添字に対して適用する事もできます。次の例では、制約式  $\sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^2 a_i b_j y_{ij} = 10$  を記述しています。：

```
i = Element(value=[1, 2, 3])
j = Element(value=[1, 2])
y = Variable(index=(i, j))
a = Parameter(index=i)
```

(次のページに続く)

(前のページからの続き)

```
b = Parameter(index=j)
Sum(a[i]*b[j]*y[i,j], (i,j)) == 10
```

次のように記述することも可能です. :

```
Sum(Sum(a[i]*b[j]*y[i,j], j), i) == 10
```

すべての添字について演算を行う場合は第二引数を省略することもできます. :

```
Sum(a[i]*b[j]*y[i,j]) == 10
```

次の  $\sum_{i=1}^3 a_i b_j y_{ij} = 10$  のように一部の添字について演算を行う場合は第二引数を省略することはできません. :

```
Sum(a[i]*b[j]*y[i,j], i) == 10
```

条件式を用いて、和や積を取る範囲を制限する事もできます。次の例では、制約式  $\sum_{i=3}^5 x_i = 10$  を記述しています. :

```
i = Element(value=range(1, 6))
x = Variable(index=i)
i3 = i>=3
Sum(x[i3], i3) == 10
```

条件付けられた添字と条件付けられていない添字を混在することはできません。次の例はいずれも誤りです. :

```
Sum(x[i], i>=3) == 10
Sum(x[i>=3], i) == 10
```

条件式が複数箇所に登場する場合、条件式は一度保存したものを使用する必要があります。次の例は誤りです. :

```
Sum(x[i>=3], i>=3) == 10
```

条件付けられた添字が一度しか登場しない場合は直接記述することができます. :

```
Sum(x[i>=3]) == 10
```

次の例では、制約式  $\sum_{i \in T} x_i = 10$ ,  $\sum_{i \notin T} x_i = 20$  を記述しています. :

```
i = Element(value=['p', 'q', 'r', 's'])
T = Set(value=['p', 'r'])
x = Variable(index=i)
iinT = i<T
Sum(x[iinT], iinT) == 10
inotinT = i>T
Sum(x[inotinT], inotinT) == 20
```

次のように記述することもできます. :

```
i = Element(value=['p', 'q', 'r', 's'])
T = Set(value=['p', 'r'])
x = Variable(index=i)
Sum(x[i<T]) == 10
Sum(x[i>T]) == 20
```

集合を用意しなくても記述することができます. 次の例はいずれも正しい書き方です. :

```
i = Element(value=['p', 'q', 'r', 's'])
x = Variable(index=i)
iinT = i<['p', 'r']
Sum(x[iinT], iinT) == 10
inotinT = i>['p', 'r']
Sum(x[inotinT], inotinT) == 20
```

```
i = Element(value=['p', 'q', 'r', 's'])
x = Variable(index=i)
Sum(x[i<['p', 'r']]) == 10
Sum(x[i>['p', 'r']]) == 20
```

### 3.3.12 選択関数 Selection

選択関数 **Selection** は、添字つき 0-1 整数変数の中で一つだけを 1 に固定したい場合に用います. 同様の記述は **Sum** 関数を用いる事でも可能ですが、**制約充足問題ソルバ wccsp/wls** 利用時には利点があります. **wccsp** を利用する際には、内部的には複数の 0-1 整数変数を用意する替わりに一つの離散変数を用意するため、内部処理が高速化されます. **wls** を利用する際は **Selection** 関数を用いると内部で探索戦略が変更され、より効率的な探索を行います. **wccsp/wls** 以外ではハード制約の  $\text{Sum}(\dots) == 1$  と等価です.

次の例では、3 つの 0-1 整数変数  $z[1], z[2], z[3]$  のうち一つだけを 1 にするよう指定しています. :

```
i = Element(value=[1, 2, 3])
z = BinaryVariable(index=i)
problem = Problem()
problem += Selection(z[i], i)
```

すべての添字について演算を行う場合は第二引数の添字は省略することもできます. :

```
problem += Selection(z[i])
```

**Sum** 関数を利用した場合、次のようになります. :

```
problem += Sum(z[i], i) == 1
```

Selection 関数の引数には、条件式を指定することもできます。次の例では、 $z[1]$ ,  $z[2]$  のうち一つだけを 1 にするよう指定しています。:

```
p += Selection(z[i<=2])
```

範囲指定の方法については [範囲演算関数 Sum, Prod](#) も参考にしてください。

Selection を用いた制約に明示的に制約式種を指定することはできませんが、常に `HardConstraint` 扱いとなります。

### 3.3.13 条件式

条件式は、添字の動く範囲を制限する機能を有します。次の例では、定数  $a[1]$ ,  $a[2]$  に -1 を、 $a[3]$  に 1 を設定しています。:

```
i = Element(value=[1, 2, 3])
a = Parameter(index=i)
a[i<=2] = -1
a[i>=3] = 1
```

条件式が一つの式の複数箇所に登場する場合、条件式は一度保存したものを使用する必要があります。

```
i = Element(value=[1, 2, 3])
a = Parameter(index=i)
x = Variable(index=i)
i2 = i<=2
ax = a[i2] + x[i2]
```

次の例は誤りです。:

```
ax = a[i<=2] + x[i<=2]
```

条件付けられた添字と条件付けられていない添字を混在することはできません。次の例はいずれも誤りです。:

```
ax = a[i] + x[i<=2]
ax = a[i<=2] + x[i]
```

条件式には等号 `==`、等式付不等号 `<=` `>=`、不等号 `<` `>`、不一致 `!=` 演算子を使用できます（制約式に使用できるのは、等号と等式付不等号のみです）。次の例では、定数  $asum$  の値を定数  $a[i]$  の中で 0 より大きいものの和  $\sum_{a_i > 0} a_i$  で定めています。:

```
i = Element(value=[1, 2, 3])
a = Parameter(index=i, value={1: 10, 2: -20, 3: 30})
apos = a[i]>0
asum = Sum(a[apos], apos)
```

上の例では、Sum 関数の第二引数を省略することで一度に記述することができます。:



```
asum = Sum(a[a[i]>0])
```

不等号  $<$   $>$  は添字に対する集合の所属有無を表現する演算子としても使用されます。以下の例では、定数  $a[1]$ ,  $a[2]$  に  $-1$  を,  $a[3]$  に  $1$  を設定しています。:

```
i = Element(value=[1, 2, 3])
T = Set(value=[1, 2])
a = Parameter(index=i)
a[i<T] = -1 # i が T に含まれる場合
a[i>T] = 1  # i が T に含まれない場合
```

集合を用いずに直接記述することもできます。:

```
i = Element(value=[1, 2, 3])
a = Parameter(index=i)
a[i<[1, 2]] = -1 # i が [1, 2] に含まれる場合
a[i>[1, 2]] = 1  # i が [1, 2] に含まれない場合
```

条件式同士を演算子  $\&$ ,  $|$  で連結することができます。それぞれ,  $\text{and}$ ,  $\text{or}$  を意味します。次の例では、定数  $b[1]$ ,  $b[4]$  に  $-1$  を,  $b[2]$ ,  $b[3]$  に  $1$  を設定しています。:

```
i = Element(value=[1, 2, 3, 4])
b = Parameter(index=i)
b[(i<=1) | (i>=4)] = -1
b[(i>=2) & (i<=3)] = 1
```

演算子の優先順位により、それぞれの条件式を括弧でくくる必要があることに注意してください。

多次元の条件式を作ることもできます。:

```
i = Element(value=[1, 2, 3])
j = Element(value=[1, 2, 3])
x = Variable(index=(i, j))
print(x[i<j])
```

この出力は次のようになります。:

```
x:
x[1,2]
x[1,3]
x[2,3]
```

多次元の条件式の一部の次元を用いる場合は  $()$  で必要な次元だけを取り出す必要があります。次の例では二次元の条件式  $i<j$  の 1 次元目を使用して変数  $y$  にアクセスしています。:

```
i = Element(value=[1, 2, 3])
j = Element(value=[1, 2, 3])
x = Variable(index=(i, j))
y = Variable(index=i)
ij = i<j
print(x[ij] + y[ij(0)])
```

次元は 0 から数えます。この出力は次のようになります。:

```
(x[(i<j)]+y[(i<j)(0)]):
x[1,2]+y[1]
x[1,3]+y[1]
x[2,3]+y[2]
```

条件式に変数や式を用いることはできません。次の記述は誤りです。:

```
i = Element(value=[1, 2])
x = Variable(index=i)
y = Variable(index=i)
xpos = x[i] >= 0
3*x[xpos] + 2*y[xpos] == 0
```

## Condition 関数

複雑な条件式を作成するために Condition 関数を用いることができます。次の記述はいずれも同じ意味を持ちます。:

```
i = Element(value=[1, 2, 3])
i1 = i>1
```

```
i = Element(value=[1, 2, 3])
i1 = Condition(i, i>1)
```

次の例では二次元集合 **IJ** に対して一次元目が 1 である条件式を作成しています。:

```
ij = Element(value=[(1,3), (1,4), (2,3)])
ij0 = ij(0)==1
```

ここで注意すべきは **ij0** は一次元の条件式となるので、**ij0** は 1 の範囲のみを動きます。上の例は以下と同じ意味を持ちます。:

```
ij = Element(value=[(1,3), (1,4), (2,3)])
ij0 = Condition(ij(0), ij(0)==1)
```

二次元の条件式を作成するには次のようにします。:

```
ij = Element(value=[(1,3), (1,4), (2,3)])
ij0 = Condition(ij, ij(0)==1)
```

ここで `ij0` は二次元の条件式なので、範囲 (1,3) と (1,4) を動くことになります。

第二引数に条件式のタプルを与えることによって複数の条件を考慮することもできます. :

```
i = Element(value=[1, 2, 3])
i2 = Condition(i, (1<i, i<3))
```

```
i = Element(value=[1, 2, 3])
j = Element(value=[4, 5])
ij = Condition((i,j), (i!=2, j>4))
```

このように `Condition` 関数を用いることによって複雑な条件式を作成することができるようになります。

### 3.3.14 範囲最小（大）値取得関数 `Min`, `Max`

範囲最小値取得関数 `Min` 及び範囲最大値取得関数 `Max` は、添字付けされた定数式の中から最小（大）のものを返す関数です. :

```
i = Element(value=[1, 2])
j = Element(value=['p', 'q'])
avalue = {(1,'p'): 10, (1,'q'): 11, (2,'p'): 20, (2,'q'): 21}
a = Parameter(index=(i,j), value=avalue)
Min(a[i,j], (i,j)) # 10
```

`Sum` 関数と同様にすべての範囲に亘る場合は第二引数を省略することができます. :

```
Min(a[i,j]) # 10
```

一部の添字について演算を行う場合は 第二引数を省略することはできません。次の例は  $\min_i a_{i,j}$  と  $\min_j a_{i,j}$  を表しています. :

```
Min(a[i,j], i)
# Min(a[i,j], i) ['X']=10
# Min(a[i,j], i) ['Y']=11
Min(a[i,j], j)
# Min(a[i,j], j) [1]=10
# Min(a[i,j], j) [2]=20
```

条件式を用いて、添字の範囲を制限する事もできます。次の例では、 $\min_{i>3} a_i$  を記述しています. :

```
i = Element(value=range(1, 6))
a = Parameter(index=i)
a[i] = i
Min(a[i>3]) # 4
```

その他の例は 範囲演算関数 *Sum*, *Prod* も確認してください。

### 最小（大）値取得関数 **MinOf**, **MaxOf**

最小値取得関数 **MinOf**, 最大値取得関数 **MaxOf** は各最小（大）のものを返す関数です. :

```
i = Element(value=[11, 21, 31])
a = Parameter(index=i, value={11: 22, 21: 32, 31: 12})
b = Parameter(index=i, value={11: 33, 21: 13, 31: 23})
Printf('i={i}, a={a}, b={b}', i=i, a=a[i], b=b[i])
# i=11, a=22, b=33
# i=21, a=32, b=13
# i=31, a=12, b=23
MinOf(i, a[i], b[i])
# MinOf(i, a[i], b[i])[1]=11
# MinOf(i, a[i], b[i])[2]=13
# MinOf(i, a[i], b[i])[3]=12
```

次の例は **MinOf** 関数を用いて変数の上限を一度に設定しています. :

```
x = Variable(index=i)
x[i] <= MinOf(i, a[i], b[i])
```

### 3.3.15 数学関数

PySIMPLE では次の演算と数学関数が定義されています. それぞれの意味はプログラミング言語 Python におけるものと同じです.

+	-	*	%	/	//	**
Ceil	Floor	Fabs	Fmod			
Exp	Log	Log10	Sqrt			
Sin	Cos	Tan	Asin	Acos	Atan	Atan2
Sinh	Cosh	Tanh	Asinh	Acosh	Atanh	
Hypot	Erf					

次の例では, 制約式  $a_i^3 + x_i \leq 11$  を記述しています. :

```
i = Element(value=[1, 2, 3])
a = Parameter(index=i)
x = Variable(index=i)
a[i]**3 + x[i] <= 11
```

変数の累乗は一次、または二次のみを扱うことができます。以下の表現はいずれも同様の意味を持ちます。：

```
a[i] + x[i]*x[i] <= 11
a[i] + x[i]**2 <= 11
a[i] + pow(x[i], 2) <= 11
```

### 3.4 制約充足問題ソルバ wcsp/wls

制約充足問題とは制約条件を満たす解を見つける組合せ最適化問題です。PySIMPLE では制約充足問題に対するメタヒューリスティクスアルゴリズムとして、wcsp(weighted constraint satisfaction problem), wls(weighting local search) を用いることができます。制約充足問題ソルバを用いる場合は他のアルゴリズムと異なり、以下の制限があります。

- 近似解法であり、必ずしも厳密解が求まるとは限らない
- 実数変数 Variable を用いることができない
- 制約式や目的関数において小数点以下が切り捨てられる (wcsp のみ)

wcsp は変数として 0-1 整数変数クラス *BinaryVariable* を、wls は変数として 0-1 整数変数クラス *BinaryVariable* と 整数変数クラス *IntegerVariable* を用いて定式化します。以下、制約充足問題に対するメタヒューリスティクスアルゴリズムで用いることができる構成要素を説明します。

変数種	LPQP	wcsp	wls
Variable	○	×	×
IntegerVariable	○	×	○
BinaryVariable	○	○	○

目的関数/制約式	LPQP	wcsp	wls
線形	○	○	○
二次	○	○	○

冒頭で述べた wcsp において、小数点以下が切り捨てられる点について説明します。wcsp/wls は制約式や目的関数をペナルティとして認識し、ペナルティが小さくなる答えを探すアルゴリズムです。Nuorium Optimizer の内部でこのペナルティを評価する際に小数点以下を切り捨て、整数として評価を行います。よって、「 $0 \geq 1$ 」のような制約式は制約違反（ペナルティ 1）となりますが、「 $0 \geq 0.99$ 」というような制約式は制約を満たしている（ペナル

ティ 0) となります。定式化の段階で小数点以下も考慮する必要がある目的関数や制約式に関しては、該当する式（制約式ならば両辺）に大きな値（1000 ならば小数第三桁まで有効になる）をかけておく必要があります。ただし値が極端に大きくならないよう注意してください。

## 3.5 出力制御

PySIMPLE で記述された数理計画モデルは、Nuorium Optimizer で求解されます。その際には求解情報が標準出力に、(出力指定があれば) より細かい解情報が解ファイル（モデル名.sol）に出力されます。

この章では、出力情報の追加に用いられる PySIMPLE の関数 `Printf`, `Fprintf` について説明します。

### 3.5.1 出力対象

後述する `Printf` 関数, `Fprintf` 関数では、以下の構成要素に対する情報を適宜取得することができます。

構成要素	情報	意味
Variable	val	現在値
	init	初期値
	dual	双対変数値
	ub	上限値
	lb	下限値
Expression	val	現在値
	init	初期値
Constraint	dual	双対変数値
	violation	違反量

`IntegerVariable` と `BinaryVariable` は `Variable` の糖衣構文であるので `Variable` と同じです。

現在値 `val` は `solve` 関数が呼ばれる前であれば初期値、呼ばれた後には最適化計算結果が入っています。例えば、次のモデルに対する出力は以下のようになります。：

```
p = Problem(type=min)
i = Element(value=[1, 2, 3])
x = Variable(index=i)
p += Sum(2*x[i])
p += x[i] >= 5
x[i] = 10
print(x.val)    # 10
p.solve(silent=True)
print(x.val)    # 5
```

出力:

```
x[1].val=10
x[2].val=10
x[3].val=10
x[1].val=5.000000020802062
x[2].val=5.000000020802062
x[3].val=5.000000020802062
```

### 3.5.2 print 関数

print 関数は、Python の組み込み関数です。PySIMPLE では print 関数により PySIMPLE のさまざまなオブジェクトに関する情報を、決まったフォーマットで出力させる機能を有しています。

print 関数を用いてオブジェクトの情報を出力するには以下のように記述します。

```
print (出力対象)
```

集合の値を出力するには、次のように記述します。:

```
S = Set(value=[1, 2, 3])
print (S)
```

定数の値を出力するには、次のように記述します。:

```
i = Element(value=[1, 2, 3])
a = Parameter(index=i)
print (a)
print (a[i])
```

変数を出力するには、次のように記述します。:

```
i = Element(value=[1, 2, 3])
x = Variable(index=i)
print (x)
print (x[i])
```

変数の現在値を出力するには、次のように記述します。:

```
print (x.val)
print (x[i].val)
```

整数変数の下限値を出力するには、次のように記述します。:

```
z = IntegerVariable(index=i, lb=0)
print (z.lb)
print (z[i].lb)
```

式の初期値を出力するには、次のように記述します. :

```
g = a[i] + x[i]
print(g.init)
print(g[i].init)
```

制約式の双対変数値を出力するには、次のように記述します. :

```
cons = x[i] >= a[i]
print(cons.dual)
print(cons[i].dual)
```

問題に登録された情報を出力するには、次のように記述します. :

```
p = Problem()
x = Variable()
p += 2*x      # 目的関数
p += x >= 0   # 制約式
print(p)
```

求解関数 `solve` の前に `print` 関数を記述すると、求解前の初期状態の情報が記述されます。例えば、次のモデルに対する出力は以下のようになります. :

```
p = Problem(type=min)
i = Element(value=[1, 2, 3])
x = Variable(index=i)
p += Sum(2*x[i])
p += x[i] >= 5
x[i] = 10
print(x.val) # 10
p.solve(silent=True)
print(x.val) # 5
```

出力:

```
x[1].val=10
x[2].val=10
x[3].val=10
x[1].val=5.000000020802062
x[2].val=5.000000020802062
x[3].val=5.000000020802062
```

次の例は求解結果を表す要素 `result` の情報を出力させています。一覧は `pysimple.problem.Result` を確認してください. :

```
x = Variable()
y = Variable()
```

(次のページに続く)



(前のページからの続き)

```
p = Problem()
p += 2*x + 3*y
p += x + 2*y == 15
p += x >= 0
p += y >= 0
p.solve(silent=True)
print(p.result)
```

出力:

```
errorMessage      : []
method            : higher
optValue          : 22.50000000376254
errorCode         : 0
nvars             : 2
nfunc             : 4
iters             : 6
fevals           : 9
factCount         : 7
tolerance         : 1e-08
residual          : 3.762538162000488e-09
elapsedTime       : 0.004999995231628418
infeasibility     : -1.0
consInfeasibility : -3.552713678800501e-15
varInfeasibility  : 0.0
hardPenalty       : None
semiHardPenalty   : None
softPenalty       : None
```

出力範囲を、条件式で制限する事も可能です。以下のようにした場合、変数  $x[1]$ ,  $x[2]$  の現在値のみが出力されます. :

```
print(x[i<3].val)
```

正の値を持つ添字のみの現在値を出力するには次のようにします. :

```
print(x[x[i].val>0].val)
```

要素や値が文字列の場合、`print` 関数だけでは引用符は表示されません。引用符まで表示させるには `repr` 関数を用います. :

```
j = Element(value=['p', 'q'])
a = Parameter(index=j, value={'p': 'pair', 'q': 'queue'})
print(a)
print(repr(a))
```

この出力は次のようになります. :

```
a[p]=pair
a[q]=queue
a['p']='pair'
a['q']='queue'
```

インタプリタでは `repr` の表示がデフォルトとなります. :

```
>>> j = Element(value=['p', 'q'], name='i')
>>> a = Parameter(index=j, value={'p': 'pair', 'q': 'queue'}, name='a')
>>> a
a['p']='pair'
a['q']='queue'
>>> print(a)
a[p]=pair
a[q]=queue
```

### 3.5.3 Printf 関数

Printf 関数は PySIMPLE の構成要素の情報を任意のフォーマットで出力させる機能を有しています. Printf 関数の書式は以下のように定められています. :

```
Printf(出力指定書式, 出力対象 1, 出力対象 2, ...)
```

次の例では, 変数の現在値を出力させています. :

```
i = Element(value=[1, 2])
x = Variable(index=i, init={1: 10, 2: 20})
Printf('{}', x[i].val)
```

これに対する出力は以下のようになります. :

```
10
20
```

次のように記述すると, 出力は以下のようになります. :

```
Printf('x[{}] の値 = {}'.format(i, x[i].val))
```

出力:

```
x[1] の値 = 10
x[2] の値 = 20
```

変数や式に対して `.val` の有無は意味が異なります. :

```
Printf('{}', x[i])
```

この出力は次のようになります. :

```
x[1]
x[2]
```

以下は小数を出力する例です. 小数を出力するには `{:f}` を用います. :

```
Printf('x[{}] の値 = {:f}', i, x[i].val)
```

出力:

```
x[1] の値 = 10.000000
x[2] の値 = 20.000000
```

表示させる桁数を指定することもできます. 以下の例では, 小数点以下二桁のみが出力されるよう記述しています. :

```
Printf('x[{}] の値 = {:.2f}', i, x[i].val)
```

出力:

```
x[1] の値 = 10.00
x[2] の値 = 20.00
```

出力の幅を指定することもできます. 以下の例では, 半角 15 文字に出力が収まるように記述しています. :

```
Printf('x[{}] の値 = {:15f}', i, x[i].val)
```

出力:

```
x[1] の値 =      10.000000
x[2] の値 =      20.000000
```

桁数と出力幅の両方をまとめて記述することもできます. :

```
Printf('x[{}] の値 = {:15.2f}', i, x[i].val)
```

出力:

```
x[1] の値 =      10.00
x[2] の値 =      20.00
```

フォーマットには他にもさまざまな書式を使用することができます. 詳細は `pysimple.Printf` を確認してください.

求解関数 `solve` の前に `Print` 関数を記述すると、求解前の初期状態の情報が記述されます。例えば、次のモデルに対する出力は以下のようになります。

```
p = Problem(type=min)
i = Element(value=[1, 2, 3])
x = Variable(index=i)
p += Sum(2*x[i])
p += x[i] >= 5
x[i] = 10
Printf('x[{}] の値 = {:f}', i, x[i].val) # 10
p.solve(silent=True)
Printf('x[{}] の値 = {:f}', i, x[i].val) # 5
```

出力:

```
x[1] の値 = 10.000000
x[2] の値 = 10.000000
x[3] の値 = 10.000000
x[1] の値 = 5.000000
x[2] の値 = 5.000000
x[3] の値 = 5.000000
```

出力範囲を、条件式で制限する事も可能です。以下のようにした場合、変数 `x[1]`, `x[2]` の値のみが出力されます。:

```
i3 = i<3
Printf('x[{}] の値 = {:f}', i3, x[i3].val)
```

同じ添字の対象であれば、同時に複数出力することができます。次の例では、変数 `x[1]`, `x[2]`, `x[3]`, 定数 `a[1]`, `a[2]`, `a[3]` の値を同時に出力させています。:

```
i = Element(value=[1, 2, 3])
x = Variable(index=i, init=3)
a = Parameter(index=i, value=5)
Printf('x[{:d}] = {:f}, a[{:d}] = {:f}', i, x[i].val, i, a[i])
```

出力:

```
x[1] = 3.000000, a[1] = 5.000000
x[2] = 3.000000, a[2] = 5.000000
x[3] = 3.000000, a[3] = 5.000000
```

次の例は求解結果を表す要素 `result` の情報を出力させています。一覧は `pysimple.problem.Result` を確認してください。:

```
x = Variable()
y = Variable()
p = Problem()
```

(次のページに続く)

(前のページからの続き)

```

p += 2*x + 3*y
p += x + 2*y == 15
p += x >= 0
p += y >= 0
p.solve(silent=True)
#print(p.result)
Printf(' 関数の数           {}', p.result.nfunc)
Printf(' 内点法の反復回数 {}', p.result.iters)
Printf(' 関数評価回数       {}', p.result.fevals)
Printf(' 目的関数値         {}', p.result.optValue)
Printf(' 収束判定条件       {}', p.result.tolerance)
Printf(' 最適性条件残差     {}', p.result.residual)
Printf(' 所要計算時間       {}', p.result.elapseTime)
Printf(' 終了時ステータス {}', p.result.errorCode)

```

出力:

```

関数の数           4
内点法の反復回数  6
関数評価回数       9
目的関数値         22.50000000376254
収束判定条件       1e-08
最適性条件残差     3.762538162000488e-09
所要計算時間       0.004999995231628418
終了時ステータス  0

```

### 3.5.4 Fprintf 関数

Fprintf 関数は、標準出力ではなくファイルに対して出力をするための関数です。出力先が違うという点以外は、Printf 関数とほぼ同等の機能を有しています。Fprintf 関数の書式は以下のように定められています。出力先ファイルを指定するための第 1 引数以外は、Printf 関数と同様の書式です。

次の例では、変数の現在値を出力させています。出力ファイルとして、output.txt を指定しています。:

```

i = Element(value=[1, 2])
x = Variable(index=i, init={1: 10, 2: 20})
fp = open('output.txt', 'w') # ファイルを開く
Fprintf(fp, '{}', x[i].val)
fp.close() # ファイルを閉じる

```

これに対する出力ファイル output.txt への出力は以下のようになります。:

```

10
20

```

Python の with 文を使うとより安全にファイルへの出力ができます. :

```
i = Element(value=[1, 2])
x = Variable(index=i, init={1: 10, 2: 20})
with open('output.txt', 'w') as fp:
    Fprintf(fp, '{}', x[i].val)
```

ファイルに上書きではなく, 追加をしたい場合はファイルを開く際の引数を 'a' とする必要があります. :

```
with open('output.txt', 'a') as fp:
```

## 3.6 求解オプション

求解オプションは, 求解時の動作をより細かく制御するためのものです. 求解オプションを利用することにより, アルゴリズムの選択や, 終了条件の調整などを行う事ができます. 標準出力や解ファイルの制御については [問題クラス Problem](#) をご確認ください. 求解オプションを設定する方法には問題クラスに対して options 属性を用います.

次の例ではアルゴリズムとして単体法 simplex を指定しています.

```
p = Problem()
p.options.method = 'simplex'
```

次の例では, 残差停止条件を  $10^{-12}$  に設定しています.

```
p.options.kktEps = 1e-12
```

次の例では, 計算時間の上限を 60 秒に設定しています.

```
p.options.maxTime = 60
```

次の例では, 分枝限定法にヒューリスティックサーチ rins を導入しています. :

```
p.options.branchRins = 1
```

一部の求解オプションについては求解オプション定数が利用できます. :

```
p.options.branchRins = Options.Branch.RINS_ON
```

求解オプション定数の詳細については `help(Options)`, `help(Options.Branch)` を使用するか [Options](#), [Branch](#) をご確認ください.

設定した値を削除してデフォルト値に戻すには `del` 文を用います. :

```
del p.options.maxTime
```

次の例では、すべての求解オプションを削除してデフォルト値に戻しています。:

```
del p.options
```

デフォルト値は [5.5 求解オプション一覧](#) をご確認ください。

求解オプションの一覧は以下で確認できます。:

```
print(dir(p.options))
```

求解オプションの現在値一覧は以下で確認できます。:

```
print(p.options)
```

求解オプションの詳細については `help(p.options)` を使用するか [ProblemOptions](#) をご確認ください。

### 3.7 実行不可能性要因検出機能

デフォルトでは、実行不可能性を検出する `iisDetect` と呼ばれる仕組みが自動的に起動され、実行不可能性の原因の探索を行います（制約充足問題ソルバ使用時以外）。ここでは、`iisDetect` 機能が起動した場合の結果を説明します。

以下のモデル記述に書かれた線形計画問題は、実行不可能（制約を満たす解なし）です。:

```
x = Variable(lb=0)
y = Variable(lb=0)
z = Variable()
problem = Problem()
problem += x + y + z
problem += x >= 2 * y, 'cons1' # IIS
problem += 1 + 2 * z >= x, 'cons2' # IIS
problem += y >= 2 + z, 'cons3' # IIS
problem += x >= z, 'cons4'
problem.solve()
assert problem.status == NuoptStatus.INFEASIBLE
```

よく見るとモデルで IIS のマークが付いた制約式群のどの一つを除去しても実行不可能性は解消しますが、すべてを満たす  $x, y, z$  は存在しません。また、マークされていない最後の制約式は実行不可能性とは無関係で、除去する、しないにかかわらず、問題は実行不可能であることもわかります。

`iisDetect` 機能はこのように、実行不可能性の原因となっている行の組 (Irreducible Infeasible Set: IIS) を特定して出力します。一般に実行不可能な問題について IIS は複数存在しますが、このアルゴリズムは可能な限り小さなもの（含まれている行が少ない）ものを求めるようなヒューリスティクスが導入されています。

IIS オブジェクトは `result.iis` 属性で取得することができます. :

```
problem.solve(silent=True)
print(problem.result.iis)
```

この出力は次のようになります. :

```
0: cons3: violation=1.5
      y-z>=2
1: cons2
      2*z-x>=-1
2: cons1
      x-2*y>=0
```

`cons1`, `cons2`, `cons3`, `cons4` の制約のうち, `cons1`, `cons2`, `cons3` が互いに矛盾する制約式の最小の組 (のひとつ) であることが分かりました. また, 実行不可能ではあるものの, 変数には何らかの値が設定されており, 実際に制約違反を起こしている制約は `cons3` で, 違反量は 1.5 であることも分かります.

更に `problem.result.iis[0]` として詳細情報にアクセスすることもできます. 詳細な属性は *IIS* をご確認ください.

モデルに非線形の式が含まれていた場合, IIS の正確な検出はできません. その場合には, ヘッダー部には IIS の検出が非線形性のために失敗したというメッセージが現れ, 非線形な制約がいくつあるかを示します.

### 3.7.1 solfile オプション

`solfile` オプションは IIS を含めた解ファイルの出力を制御します. 解ファイルはデフォルトでは出力されません. 解ファイルは `Problem` オブジェクト生成時, または `solve` メソッド呼び出し時に `solfile` オプションで制御することができます. :

```
problem.solve(solfile=True) # {problem.name}.sol が出力される
```

ファイル名を指定することもできます. :

```
problem.solve(solfile='myproblem') # myproblem.sol が出力される
```

解ファイルの実行不可能性要因出力部は次のような出力になります. :

```
%%
%%      IIS
%%
-----
#1      cons1      :      1*x-2*y
                                     >=      0      (      0)
-----
```

(次のページに続く)



(前のページからの続き)

```
#2      cons2      :   -1*x+2*z
                                     >=      -1      (      -1)
-----
#3      cons3      INFS :   1*y-1*z
                                     >=      2      (      0.5)
-----
```

iis オプションで iisDetect 機能をオフにしている場合は実行不可能性要因出力部は出力されません。

解ファイルの見方については [解ファイル](#) をご確認ください。

### 3.7.2 iis オプション

iis オプションは iisDetect 機能のオン/オフを制御します。iisDetect 機能はデフォルトではオンになっています。:

```
problem.solve(silent=True)
print(problem.result.iis)
```

この出力は次のようになります。:

```
0: cons3: violation=1.5
    y-z>=2
1: cons2
    2*z-x>=-1
2: cons1
    x-2*y>=0
```

実行可能な場合や iisDetect 機能をオフにした場合は None が設定されます。:

```
problem.solve(silent=True, iis=False) # iisDetect 機能をオフにする
print(problem.result.iis) # None
```

iisDetect 機能をオフにすると実行不可能性要因検出が行われなくなるため、実行不可能時の高速化が期待されます。

## 3.8 その他の機能

### 3.8.1 インポートについて

PySIMPLE でモデリングを行う前には使用するオブジェクトをインポートして使える状態にしておく必要があります。インポートには使用するオブジェクトだけを個別に行う方法と、すべてを一括して行う方法があります。

前者の方法では以下のように使用するオブジェクトをカンマで区切って並べます。:

```
from pysimple import Problem, Variable
```

後者の方法では \* を使用することで PySIMPLE で使用可能なすべてのオブジェクトを利用することができるようになります. :

```
from pysimple import *
```

いずれの場合も Python の名前空間に存在する同名のオブジェクトを上書きすることで予期せぬ動作を起こす可能性があることに注意してください.

利用可能な PySIMPLE オブジェクトの一覧は以下のように確認することができます. :

```
$ python -i
Python 3.10.5 (tags/v3.10.5:f377153, Jun  6 2022, 16:14:13) [MSC v.1929 64 bit
  ↳ (AMD64)] on win32
Type "help", "copyright", "credits" or "license" for more information.
>>> from pysimple import *
pysimple 1.3.1 ("Thu Jun 23 21:40:23 2022 +0900" "aa33074")
Copyright (C) 2019 NTT DATA Mathematical Systems Inc. All Rights Reserved.
>>> dir()
['Acos', 'Acosh', 'Asin', '..']
```

PySIMPLE をパッケージのまま利用することも可能です. :

```
>>> import pysimple
pysimple 1.3.1 ("Thu Jun 23 21:40:23 2022 +0900" "aa33074")
Copyright (C) 2019 NTT DATA Mathematical Systems Inc. All Rights Reserved.
>>> i = pysimple.Element(value=[1, 2], name='i')
>>> x = pysimple.Variable(index=i, name='x')
```

エイリアスを用いる場合は ps を推奨します. :

```
>>> import pysimple as ps
pysimple 1.3.1 ("Thu Jun 23 21:40:23 2022 +0900" "aa33074")
Copyright (C) 2019 NTT DATA Mathematical Systems Inc. All Rights Reserved.
>>> i = ps.Element(value=[1, 2], name='i')
>>> x = ps.Variable(index=i, name='x')
```

### 3.8.2 name 属性について

PySIMPLE では、宣言時に name 属性を与えない 集合クラス *Set*, 添字クラス *Element*, 定数クラス *Parameter*, 変数クラス *Variable* の name 属性を自動判別します。判別に失敗した場合クラス名となります。:

```
i = Element(value=[1,2])
x = Variable(index=i)
print(x)
print(Variable(index=i))
```

この出力は次のようになります。:

```
x:
x[1]
x[2]
Variable:
Variable[1]
Variable[2]
```

また、インタプリタでは必ず判別に失敗しますので name 属性を与えた方が良いでしょう。:

```
>>> i = Element(value=[1,2])
>>> x = Variable(index=i)
>>> x
Variable:
Variable[1]
Variable[2]
>>> y = Variable(index=i, name='y')
>>> y
y:
y[1]
y[2]
```

式クラス, 制約式クラス *Constraint* などの name 属性は構成要素から自動で与えられます。明示的に与える場合は name 属性を変更します。:

```
i = Element(value=[1, 2])
a = Parameter(index=i, value=3)
x = Variable(index=i)
ax = a[i] + x[i]
print(ax)
ax.name = 'ax'
print(ax)
```

出力:

```
(a[i]+x[i]):  
x[1]+3  
x[2]+3  
ax:  
x[1]+3  
x[2]+3
```

### 3.8.3 pandas を用いた csv データの読み込み

本項では、データ解析分野で表操作によく使われる pandas モジュールを利用して、csv 形式で保持しているデータを PySIMPLE オブジェクトとして読み込む方法を紹介します。

添字が 1 つのデータ value, size を考えます。以下では knapsack.csv があるとします。：

```
i,value,size  
缶コーヒー,120,10  
水入りペットボトル,130,12  
バナナ,80,7  
りんご,100,9  
おにぎり,250,21  
パン,185,16
```

これを pandas を用いて読み込み、Parameter にするには次のようにします。：

```
import pandas as pd  
# 1D, 1 index, 複数データ  
data = pd.read_csv('knapsack.csv', index_col='i') # この index_col は明示しなくてもよい  
i = Element(value=data['value'].keys()) # 品物  
value = Parameter(index=i, value=data['value'].to_dict())  
size = Parameter(index=i, value=data['size'].to_dict())
```

添字が 2 つの場合も同様です。以下では assign.csv があるとします。：

```
i,j,gain,cost  
1,A,31,13  
1,B,12,60  
1,C,19,76  
2,A,76,32  
2,B,75,120  
2,C,15,6
```

これを読み込むには次のようにします。：

```
# 1D, 2 index, 複数データ  
data = pd.read_csv('assign.csv', index_col=['i', 'j'])
```

(次のページに続く)

(前のページからの続き)

```

ij = Element(value=data['gain'].keys())
gain = Parameter(index=ij, value=data['gain'].to_dict()) # 割当利益
cost = Parameter(index=ij, value=data['cost'].to_dict()) # 割当コスト

```

PySIMPLE で添字が複数次元のデータを与えるには key がタプルの辞書に変換する必要がありますが、これは DataFrame の MultiIndex を使うことで簡単に実現できます。read\_csv 関数で読み込む場合、index\_col キーワードで MultiIndex を指定することができます。

表形式の場合は少し加工が必要です。以下では product2.csv があるとします。:

```

i,A,B
0,60,40
1,10,60

```

これを読み込むには次のようにします。:

```

# 1D, 2 index
#data = pd.read_csv('product1.csv', index_col=['i', 'j'])

# 2D, 2 index
data = pd.read_csv('product2.csv')
data = data.melt(id_vars='i', var_name='j', value_name='product')
data = data.set_index(['i', 'j'])
ij = Element(value=data['product'].keys())
product = Parameter(index=ij, value=data['product'].to_dict())

```

表形式の場合、read\_csv 関数で読み込んだ後、melt 関数で整形し、set\_index 関数を用いることで MultiIndex を指定することができます。

表形式で添字が3つの場合も同様です。以下では demand2.csv があるとします。:

```

i,j,X,Y
0,A,300,200
0,B,180,150
1,A,240,180
1,B,150,120

```

これを読み込むには次のようにします。:

```

# 1D, 3 index
#data = pd.read_csv('demand1.csv', index_col=['i', 'j', 'k'])

# 2D, 3 index
data = pd.read_csv('demand2.csv')
data = data.melt(id_vars=['i', 'j'], var_name='k', value_name='demand')
data = data.set_index(['i', 'j', 'k'])

```

(次のページに続く)

(前のページからの続き)

```
ijk = Element(value=data['demand'].keys())
demand = Parameter(index=ijk, value=data['demand'].to_dict())
```

### 3.8.4 for 文を使う

for 文は要素を逐次処理するための制御フローです。PySIMPLE の集合、定数、変数、式、制約式などのオブジェクトはいずれも for 文で処理することができます。:

```
IJ = Set(value=[(1,3), (1,4), (2,3)])
for elm in IJ:
    print(elm)
```

この出力は次のようになります。:

```
(1, 3)
(1, 4)
(2, 3)
```

出力順は毎回同じになります。

添字では set 属性で対応する集合を用います。:

```
ij = Element(value=[(1,3), (1,4), (2,3)])
for elm in ij.set:
    print(elm)
```

次元に限らず各要素は必ずタプルになることに注意してください。:

```
I = Set(value=[1, 2])
for elm in I:
    print(elm)
```

出力:

```
(1,)
(2,)
```

一次元の要素をタプルとして扱いたくない場合、アンパックしながら取り出すと簡単に回避できます。:

```
I = Set(value=[1, 2])
for elm, in I: # 'elm,' とカンマがついている
    print(elm)
```

出力:

```
1
2
```

定数は辞書と同じように扱われます。すなわちキーが取り出されます。：

```
i = Element(value=[1, 2])
a = Parmeter(index=i, value={1: 10, 2: 20})
for elm in a:
    print(elm)
```

出力:

```
(1,)
(2,)
```

値を取り出すには `values()`，キーと値を同時に取り出すには `items()` メソッドを使います。：

```
for key, value in a.items():
    print(key, value)
```

出力:

```
(1,), 10
(2,), 20
```

変数の値を取り出すには `.val` などの属性に続けて同様の操作ができます。：

```
i = Element(value=[1, 2])
x = Variable(index=i, init={1: 10, 2: 20})
for key, value in x.val.items():
    print(key, value)
```

### 3.8.5 Python オブジェクトへの変換

次の例は集合を Python のリストに変換しています。：

```
I = Set(value=[1, 2, 3])
print(list(I))
```

出力:

```
[(1,), (2,), (3,)]
```

次元に限らず各要素は必ずタプルになることに注意してください。

次の例は定数を Python の辞書に変換しています. :

```
i = Element(value=[1, 2])
a = Parameter(index=i)
a[i] = i
print(dict(a))
```

出力:

```
{(1,): 1, (2,): 2}
```

次の例は変数の現在値を Python のリストに変換しています. :

```
x = Variable(index=i)
x[i] = i
print(list(x.val.values()))
```

出力:

```
[1, 2]
```

次の例は変数の現在値を Python の辞書に変換しています.\*<sup>1</sup>

```
x = Variable(index=i)
x[i] = i
print(dict(x.val.items()))
```

出力:

```
{(1,): 1, (2,): 2}
```

次の例は定数を Python の整数型に変換しています. :

```
a = Parameter(value=3)
print(int(a))
```

出力:

```
3
```

次の例は変数の値を Python の浮動小数点型に変換しています. :

```
x = Variable(init=3)
print(float(x.val))
```

---

\*<sup>1</sup> Python の実装やバージョンによっては `dict(x.val)` で変換できる場合もあります.



出力:

```
3.0
```

添字を含むオブジェクトは整数型や浮動小数点型へ変換できません。次の記述は誤りです。:

```
i = Element(value=[1, 2])
a = Parameter(index=i)
a[i] = i
print(int(a))
```

### 3.8.6 pandas を用いた結果表の出力

割当問題などでは最適化の結果を表形式で見たいケースが多くあります。本項では、データ解析分野で表操作によく使われる pandas モジュールの DataFrame を用いて結果を加工します。

まずは簡単な割当問題を見てみましょう。:

```
i = Element(value=range(4)) # 仕事
j = Element(value='ABCD')   # 人
x = BinaryVariable(index=(i, j))
p = Problem()
p += Sum(x[i, j], i) == 2, '各人は 2 つの仕事をする'
p += Sum(x[i, j], j) == 2, '各仕事は 2 人で分担する'
p.solve(silent=True)
```

一般に最適化の出力は整然データ (tidy data) の形式になります。整然データを表形式に加工するには pivot 関数を使うことでできます。:

```
import pandas as pd
output = pd.DataFrame((x[i, j].val>0).set, columns=['i', 'j'])
output['val'] = 1
print(output.pivot(*output.columns).fillna(0).astype(int))
```

出力:

```
j  A  B  C  D
i
0  0  0  1  1
1  1  0  1  0
2  0  1  0  1
3  1  1  0  0
```

データ加工の二行目ではまず、`x[i, j].val>0` で正の値が入っている部分からなる (二次元の) 添字を抽出しています。添字自体はイテレートできないので、`set` 属性により長さ 2 のタプル列を DataFrame に渡します。三行目では値列を追加し、四行目でピボットテーブルに加工します。pivot 関数は index, columns, values 引数を取りま

ですが、それぞれが `output` の `i` 列, `j` 列, `val` 列に対応するため, `output.columns` を渡すことで簡略化しています. 次のように, 最初から三つ組を `DataFrame` に与えることもできます. :

```
val = [(ij, v) for ij, v in x.val.items()]
output = pd.DataFrame(val, columns=['i', 'j', 'val'])
output.pivot(*output.columns).astype(int)
```

次は, 別の例としてシフト表を作ってみましょう. 5 人の一週間のシフトとして日勤 (Day)・夜勤 (Ngt)・休み (Off) を決めます. :

```
m = Element(value='ABCDE')      # Man
d = Element(value=range(1,8))    # Day
s = Element(value=['Day', 'Ngt', 'Off']) # Shift
prb = Problem()
x = BinaryVariable(index=(m,d,s))
prb += Sum(x[m,d,s], s) == 1, '一日に勤務は一つ'
prb += Sum(x[m,d,'Day'], m) == 2, '日勤は二人ちょうど'
prb += Sum(x[m,d,'Ngt'], m) >= 1, '夜勤は一人以上'
prb += Sum(x[m,d,'Off'], d) >= 1, '一回以上は休み'
prb += Sum(x[m,d,'Ngt'], d) <= 2, '夜勤は二回まで'
d1 = d != 7
prb += x[m,d1+1,'Off'] >= x[m,d1,'Ngt'], '夜勤の次の日は代休'
prb.solve(silent=True)
```

今回は, `DataFrame` への値の与え方が少し異なり, 添字自体が三次元です. :

```
output = pd.DataFrame((x[m,d,s].val>0).set, columns=['Man','Day','Shift'])
piv = output.pivot(*output.columns)
print(piv)
```

出力:

Day	1	2	3	4	5	6	7
Man							
A	Day	Off	Day	Ngt	Off	Day	Ngt
B	Off	Day	Off	Day	Day	Off	Ngt
C	Off	Ngt	Off	Day	Ngt	Off	Day
D	Ngt	Off	Ngt	Off	Off	Day	Day
E	Day	Day	Day	Off	Day	Ngt	Off

制約を満たしているか確認のため集計列を集計行を付け加えてみましょう. :

```
piv.loc['DayCount'] = (piv == 'Day').sum(axis=0)
piv.loc['NgtCount'] = (piv == 'Ngt').sum(axis=0)
piv = piv.assign(OffCount=(piv == 'Off').sum(axis=1),
                 NgtCount=(piv == 'Ngt').sum(axis=1))
print(piv)
```

出力:

Day	1	2	3	4	5	6	7	OffCount	NgtCount
Man									
A	Day	Off	Day	Ngt	Off	Day	Ngt	2	2
B	Off	Day	Off	Day	Day	Off	Ngt	3	1
C	Off	Ngt	Off	Day	Ngt	Off	Day	3	2
D	Ngt	Off	Ngt	Off	Off	Day	Day	3	2
E	Day	Day	Day	Off	Day	Ngt	Off	2	1
DayCount	2	2	2	2	2	2	2	0	0
NgtCount	1	1	1	1	1	1	2	0	0

### 3.8.7 PySIMPLE オブジェクトのシリアライズ

Python には、Python オブジェクトをシリアライズ (直列化) できる pickle という機能が標準で用意されています。PySIMPLE では、pickle と同様に PySIMPLE オブジェクトをシリアライズできる Serialize クラスがあります。

以下では、添字付き変数をシリアライズし、ファイルに dump、復元をしています。:

```
i = Element(value=[1, 2, 3])
x = Variable(index=i)
x[i] = i*10
with open('dump.pkl', 'wb') as f:
    Serialize.dump(x, f)

with open('dump.pkl', 'rb') as g:
    x_ = Serialize.load(g)
print(x_.val)
```

以下では、Problem オブジェクトをファイルに dump、復元をした後、求解しています。この使用法は求解直前から再開できるため、求解前までに時間を要したり、手間がかかる場合に有効です。:

```
i = Element(value=[1, 2])
x = Variable(index=i, lb=0, ub=5)
problem = Problem()
problem += 6*x[1] + x[2] >= 12
problem += 4*x[1] + 6*x[2] >= 24
problem += 180*x[1] + 160*x[2]

# Problem をファイルに dump
with open('dump.pkl', 'wb') as f:
    Serialize.dump(problem, f)

# 読み込み
with open('dump.pkl', 'rb') as g:
    problem_ = Serialize.load(g)
```

(次のページに続く)

(前のページからの続き)

```
x_ = problem_.variables['x']
problem_.solve(silent=True)
print(x_.val)
```

以下では、求解後に **Problem** に登録した全ての変数をファイルに **dump**、復元後、元の変数に値を設定しています。この使用法は求解時の値を簡単に復元できるため、実行可能な初期値を設定する、実行不可能時に以前の値に戻す、といったケースが考えられます。:

```
i = Element(value=[1, 2])
x = Variable(index=i, lb=0, ub=5)
problem = Problem()
problem += 6*x[1] + x[2] >= 12
problem += 4*x[1] + 6*x[2] >= 24
problem += 180*x[1] + 160*x[2]
problem.solve(silent=True)
print(x.val)

# Problem に登録した全ての変数をファイルに dump
with open('dump.pkl', 'wb') as f:
    Serialize.dump(list(problem.variables.values()), f)

# 変数の値を変える操作
x[i] = 0
print(x.val) # 0

# 読み込み
with open('dump.pkl', 'rb') as g:
    variables = Serialize.load(g)

# 元の変数に復元した値を設定
for var1, var2 in zip(problem.variables.values(), variables):
    # 今回の場合 x[i] = variables[0][i].val と等価
    var1[var1.index] = var2[var1.index].val
print(x.val)
```

また、**Serialize** クラスは Python の **pickle** モジュールのラッパーであるため、Python オブジェクトもシリアライズできます。

メソッド一覧は *Serialize* をご確認ください。

### 3.8.8 高速化 TIPS

本項では、PySIMPLE の性能を引き出すことのできる高速化方法を 4 つ紹介します。

#### Set/Element の value には range を与える

Set の value キーワードには iterable オブジェクト全般を渡すことができますが、range の場合は専用の高速化処理が行われ、下記の例だと、10 倍程度の速度差が発生します。Element にも value キーワードがありますが同様です。添字が等差数列の場合はなるべく range オブジェクトを渡すようにしましょう。:

```
I = Set(value=list(range(1000000))) # 遅い
I = Set(value=range(1000000))      # 速い
```

#### set が同じ添字は使いまわす

Set や Element に value が与えられた場合は内部でデータチェックが行われます。前者ではデータチェックが 2 回、後者では 1 回であるため、後者の方が速くなります。:

```
# 遅い
i1 = Element(value=range(1000000))
i2 = Element(value=range(1000000))
# 速い
I = Set(value=range(1000000))
i1 = Element(set=I)
i2 = Element(set=I)
```

後者は次のように記述することもできます。:

```
i1 = Element(value=range(1000000))
i2 = Element(set=i1.set)
```

#### 制約より lb/ub を使う

PySIMPLE では変数の宣言時に lower/upper bound を与えることができます。bound に定数を渡した場合は、与えない場合と同じ速度で初期化が行われるため、後者では制約式の分、高速になります。:

```
i = Element(value=range(1000000))
p = Problem()
# 遅い
x = Variable(index=i)
p += x[i] >= 1
# 速い
x = Variable(index=i, lb=1)
```

#### データは宣言時に与える

PySIMPLE では Parameter の値や Variable の初期値を宣言時に与えることも、宣言後に変更することもできます。しかし、Parameter/Variable への代入は添字つき処理を行うことを目的として実装されているため、通常の代入に

比べると遅くなってしまいます。そのため、個別に値を指定したい場合は辞書を作成しておき、宣言時に与える方が効率的です。：

```
# 遅い
a = Parameter(index=i)
for idx in ...:
    a[idx] = ...

# 速い
data = {}
for idx in ...:
    data[idx] = ...
a = Parameter(index=i, value=data)
```

一方、次のような添字付き代入の場合は問題ありません。：

```
a = Parameter(index=i)
a[i] = i
```

### 3.8.9 実数緩和について

次の数理計画問題を考えてみましょう。

整数変数
$x_i, \quad i \in \{1, 2\}$
制約
$x_i \geq 0.1, \quad \forall i$
$2 \sum_i x_i \leq 3$
目的関数 (最大化)
$\sum_i x_i$

実はこの問題には整数解は存在しませんが、実数変数であれば実行可能解が存在します。次の例は数理計画問題を一度 整数計画問題として求解し、実行不可能だったら実数変数として解き直しています。：

```
def showresult(p, x):
    if p.isFeasible():
        print('feasible!')
        print(x.val)
    elif p.isInfeasible():
        print('infeasible!')
    else:
        print('some error!')

def problem(vartype):
    p = Problem(type=max, silent=True)
    i = Element(value=[1, 2])
```

(次のページに続く)

(前のページからの続き)

```

x = Variable(index=i, lb=0.1, type=vartype)
p += 2*Sum(x[i]) <= 3
p += Sum(x[i])
p.solve()
showresult(p, x)
return p.isInfeasible()

is_infeasible = problem(int)
if is_infeasible:
    print('relax!')
    problem(float)

```

この出力は次のようになります. :

```

infeasible!
relax!
feasible!
x[1].val=0.7499999998309204
x[2].val=0.7499999998309204

```

上記の例ではほぼ同じ問題を再度定義しているため冗長と言えます. 変数の `type` 属性を後から変更できる性質を利用すると, 問題はそのまま実数緩和を行うことができます. :

```

p = Problem(type=max, silent=True)
i = Element(value=[1, 2])
x = IntegerVariable(index=i, lb=0.1)
p += 2*Sum(x[i]) <= 3
p += Sum(x[i])

p.solve()
showresult(p, x)

if p.isInfeasible():
    print('relax!')
    x.type = float # 実数変数に変更
    p.solve()
    showresult(p, x)

```

`type` 属性の変更には添字をつけることはできません. 次の記述は誤りです. :

```

x[i].type = float

```





## 第 4 章

# サンプル

PySIMPLE は様々な定式化の例を同梱しています.

### 4.1 チュートリアル

チュートリアルで扱ったモデル一覧です. 具体的な問題は [チュートリアル](#) をご確認ください.

```
sample.tutorial.oil1(**kws)
```

油田問題 (目的関数・変数・制約)

```
sample.tutorial.oil2(**kws)
```

油田問題 (定数)

```
sample.tutorial.oil3(**kws)
```

油田問題 (集合・添字)

```
sample.tutorial.oil4(**kws)
```

油田問題 (集約・複数の添字)

```
sample.tutorial.oil5(**kws)
```

油田問題 (式)

```
sample.tutorial.oil6(**kws)
```

油田問題 (整数変数)

```
sample.tutorial.oil7(**kws)
```

油田問題 (結果出力関数)

## 4.2 数独

次の数独の問題を PySIMPLE で記述してみましょう。

5	3			7				
6			1	9	5			
	9	8					6	
8				6				3
4			8		3			1
7				2				6
	6					2	8	
			4	1	9			5
				8			7	9

数独とは  $3 \times 3$  のブロックに区切られた  $9 \times 9$  の正方形の枠内に次を満たすように 1~9 までの数字を入れるパズルです。

- 空いているマスに 1~9 のいずれかの数字を入れる
- 各値は縦の各列に 1 つずつ入る
- 各値は横の各行に 1 つずつ入る
- 各値は太線で囲まれた  $3 \times 3$  のブロック内に 1 つずつ入る
- 初期条件を満たす

数独の変数は、各マスについて、各値が「入る」もしくは「入らない」という状態を表現できるものとなります。ここでは、入る場合は 1、入らない場合は 0 を取るような変数  $x_{\text{値}, \text{マス}}$  を導入します。値は 1 から 9 を、マスは左上の (1, 1) から右下の (9, 9) をとります。

このとき上記の制約はどのように表すことができるでしょうか。各制約について見ていきましょう。

空いているマスに 1~9 のいずれかの数字を入れる

マス (1,1) を例に考えると、このマスには 1 から 9 のいずれかの値が入ります。言い換えると、 $x_{1,(1,1)}, \dots, x_{9,(1,1)}$  のうちちょうど 1 つが 1 となっている、すなわち、これらを足すと必ず 1 になると考えることができます。

$$x_{1,(1,1)} + x_{2,(1,1)} + \dots + x_{9,(1,1)} = 1$$

これを値  $v \in Val = \{1, \dots, 9\}$  と  $\sum$  を用いて表現すると次のようになります。

$$\sum_{v \in Val} x_{v,(1,1)} = 1$$

この制約が各マス  $(r,c)$  で成立しているので、1 つ目の制約は  $r \in Row = \{1, \dots, 9\}, c \in Col = \{1, \dots, 9\}$  を用いて次のように記述できます。

$$\sum_{v \in Val} x_{v,(r,c)} = 1, \quad \forall r \in Row, c \in Col$$

各値は縦の各列に 1 つずつ入る

値 1 と 1 列目を例に考えてみましょう。値 1 は 1 列目のいずれかに入ります。1 列目は  $(1,1), \dots, (9,1)$  のマスから成っているので、このうちちょうど 1 つが 1 となります。

1,1								
2,1								
3,1								
4,1								
5,1								
6,1								
7,1								
8,1								
9,1								

これは次のように表現することができます。

$$x_{1,(1,1)} + x_{1,(2,1)} + \dots + x_{1,(9,1)} = 1$$

すなわち、

$$\sum_{r \in Row} x_{1,(r,1)} = 1$$

となります。これを任意の値  $v$  と任意の列  $c$  について考えると、次のように記述できます。

$$\sum_{r \in Row} x_{v,(r,c)} = 1, \quad \forall v \in Val, c \in Col$$

各値は横の各行に 1 つずつ入る

列のときと同様に次のように表現することができます。

$$\sum_{c \in Col} x_{v,(r,c)} = 1, \quad \forall v \in Val, r \in Row$$

各値は太線で囲まれた  $3 \times 3$  のブロック内に 1 つずつ入る

1,1	1,2	1,3						
2,1	①	2,3		②			③	
3,1	3,2	3,3						
	④			⑤			⑥	
	⑦			⑧			⑨	

例えば、値 1 が左上のブロック ① に入るという制約は次のように表現することができます。

$$x_{1,(1,1)} + x_{1,(1,2)} + x_{1,(1,3)} + x_{1,(2,1)} + \cdots + x_{1,(3,3)} = 1$$

これは、 $\text{Block1}=\{(1,1), \dots, (3,3)\}$  という集合を用意すると、

$$\sum_{(r,c) \in \text{Block1}} x_{1,(r,c)} = 1$$

と表現することができます。

他のブロックについても汎用的に記述するにはどうすればよいでしょうか。準備として、 $\text{Blocks}=\{(\textcircled{1}, (1,1)), \dots, (\textcircled{1}, (3,3)), (\textcircled{2}, (1,4)), \dots, (\textcircled{9}, (9,9))\}$  という集合を用意すると、先ほどの制約は、

$$\sum_{\substack{(r,c) \\ (1,r,c) \in \text{Blocks}}} x_{1,(r,c)} = 1$$

と表現できます。任意の値  $v$  と任意のブロック  $n \in \text{Blocks}(0)=\{\textcircled{1}, \dots, \textcircled{9}\}$  について考えると、

$$\sum_{\substack{(r,c) \\ (n,r,c) \in \text{Blocks}}} x_{v,(r,c)} = 1, \quad \forall v \in \text{Val}, n \in \text{Blocks}(0)$$

と記述できます。ここで  $\text{Blocks}(0)$  は三次元集合  $\text{Blocks}$  の一次元目を表します。

初期条件を満たす

初期値集合  $\text{Init} = \{(5,1,1), (6,2,1), \dots, (9,9,9)\}$  を用意すると、次のように表現することができます。

$$x_{v,(r,c)} = 1, \quad (v, r, c) \in \text{Init}$$

以上のことを反映し、汎用化させた結果は以下のようになります。

集合	
$Val = \{1, \dots, 9\}$	値集合
$Row = \{1, \dots, 9\}$	行集合
$Col = \{1, \dots, 9\}$	列集合
$Blocks = \{(1, 1, 1), \dots, (1, 3, 3), (2, 1, 4), \dots, (9, 9, 9)\}$	ブロック集合
$Init = \{(5, 1, 1), (6, 2, 1), \dots, (9, 9, 9)\}$	初期値集合

#### 0 – 1 整数変数

$x_{v,r,c}$	値 $v$ がマス $(r, c)$ に入るとき 1, 入らないとき 0 をとる変数
制約	
$\sum_{v \in Val} x_{v,r,c} = 1, \quad \forall r \in Row, c \in Col$	各マスにはいずれかの値を入れる
$\sum_{r \in Row} x_{v,r,c} = 1, \quad \forall v \in Val, c \in Col$	各値は縦の各列に 1 つずつ入る
$\sum_{c \in Col} x_{v,r,c} = 1, \quad \forall v \in Val, r \in Row$	各値は横の各行に 1 つずつ入る
$\sum_{(n,r,c) \in Blocks} x_{v,r,c} = 1, \quad \forall v \in Val, n \in Blocks(0)$	各値は $3 \times 3$ のブロック内に 1 つずつ入る
$x_{v,r,c} = 1, \quad (v, r, c) \in Init$	初期条件を満たす

これを PySIMPLE で記述すると、次のようになります. :

```
from pysimple import Problem, Set, Element, BinaryVariable, Sum, Parameter

Vals = Rows = Cols = Set(value=range(1, 10))
v = Element(set=Vals)
r = Element(set=Rows)
c = Element(set=Cols)
Blocks = Set(value=[(s+1, s//3*3+t//3+1, s%3*3+t%3+1) for s in range(9) for t in_
↪range(9)])
b = Element(set=Blocks) # b(0) は Block 番号
print(Blocks)

Init = Set(value=[(5, 1, 1), (6, 2, 1), (8, 4, 1), (4, 5, 1), (7, 6, 1), (3, 1, 2), (9,
↪3, 2), (6, 7, 2), (8, 3, 3), (1, 2, 4), (8, 5, 4), (4, 8, 4), (7, 1, 5), (9, 2, 5),
↪(6, 4, 5), (2, 6, 5), (1, 8, 5), (8, 9, 5), (5, 2, 6), (3, 5, 6), (9, 8, 6), (2, 7,
↪7), (6, 3, 8), (8, 7, 8), (7, 9, 8), (3, 4, 9), (1, 5, 9), (6, 6, 9), (5, 8, 9), (9,
↪9, 9)])
init = Element(set=Init)

prob = Problem(name='数独')
x = BinaryVariable(index=(v,r,c)) # 値 v が (r,c) に入るか

prob += Sum(x[v,r,c], v) == 1 # 各マスにはいずれかの値
prob += Sum(x[v,r,c], r) == 1 # 各値は各列のいずれか
prob += Sum(x[v,r,c], c) == 1 # 各値は各行のいずれか
prob += Sum(x[v,b(1,2)], b(1,2)) == 1 # 各値は各ブロックのいずれか
prob += x[init] == 1 # 初期条件

print(prob)
prob.solve()
```

(次のページに続く)

(前のページからの続き)

```
print(x[x[v,r,c].val==1])

inittable = Parameter(index=(v,r,c), value=dict.fromkeys(Init, 1))
resulttable = dict(x.val.items()) # dump as dict
showsudoku(Rows, Cols, Vals, inittable)
showsudoku(Rows, Cols, Vals, resulttable)
```

ここで showsudoku は数独のテーブルを整形して出力するための次のような関数です. :

```
def showsudoku(Rows, Cols, Vals, table):
    from sys import stdout

    for r, in Rows:
        if r in (1, 4, 7):
            stdout.write("+-----+-----+-----+\n")
        for c, in Cols:
            for v, in Vals:
                if table[v,r,c] == 1:
                    break
            else:
                v = ' '
            if c in (1, 4, 7):
                stdout.write("| ")
            stdout.write(str(v) + " ")
            stdout.write("|\n")
        stdout.write("+-----+-----+-----+\n")
```

モデルを実行させると、最後に次のような出力が得られ、問題が解けていることが分かります. :

```
+-----+-----+-----+
| 5 3 |   7   |       |
| 6   | 1 9 5 |       |
|   9 8 |       | 6     |
+-----+-----+-----+
| 8     | 6     | 3     |
| 4     | 8 3   | 1     |
| 7     | 2     | 6     |
+-----+-----+-----+
| 6     |       | 2 8   |
|       | 4 1 9 | 5     |
|       | 8     | 7 9   |
+-----+-----+-----+
+-----+-----+-----+
| 5 3 4 | 6 7 8 | 9 1 2 |
| 6 7 2 | 1 9 5 | 3 4 8 |
| 1 9 8 | 3 4 2 | 5 6 7 |
```

(次のページに続く)

(前のページからの続き)

```

+-----+-----+-----+
| 8 5 9 | 7 6 1 | 4 2 3 |
| 4 2 6 | 8 5 3 | 7 9 1 |
| 7 1 3 | 9 2 4 | 8 5 6 |
+-----+-----+-----+
| 9 6 1 | 5 3 7 | 2 8 4 |
| 2 8 7 | 4 1 9 | 6 3 5 |
| 3 4 5 | 2 8 6 | 1 7 9 |
+-----+-----+-----+

```

このモデルを PySIMPLE で記述するためのポイントをいくつか示します. :

```

Blocks = Set(value=[(s+1, s//3*3+t//3+1, s%3*3+t%3+1) for s in range(9) for t in_
↪range(9)])
b = Element(set=Blocks) # b(0) は Block 番号
prob += Sum(x[v,b(1,2)], b(1,2)) == 1 # 各値は各ブロックのいずれか

```

ここではまず、三組み Blocks を作成しています. print(Blocks) をすると、上記の要素から成ることが確認できます. **b** は三組みの任意の 1 つを表す添字です. ブロックの制約  $\sum_{\substack{(r,c) \\ (n,r,c) \in \text{Blocks}}} x_{v,r,c} = 1$  では三組みの後ろ 2 つについての和をとる必要があります. これは次のように表現することができます.

$$\sum_{\substack{b(1,2) \\ b \in \text{Blocks}}} x_{v,b(1,2)} = 1, \quad \forall v \in \text{Val}, b(0) \in \text{Blocks}(0)$$

ここで **b(1,2)** は添字 **b** の 1 番目と 2 番目 (0 始まり) を表します.

同様に初期条件も三組を考えて次のように表現します. :

```

Init = Set(value=[(5, 1, 1), (6, 2, 1), ..., (9, 9, 9)])
init = Element(set=Init)
prob += x[init] == 1 # 初期条件

```

```
print(x[x[v,r,c].val==1])
```

この部分では求解後に値が入った組合せを確認しています. 三組だけを取り出したい場合は (x[v,r,c].val==1).set で OK です.

```

inittable = Parameter(index=(v,r,c), value=dict.fromkeys(Init, 1))
resulttable = dict(x.val.items()) # dump as dict
showsudoku(Rows, Cols, Vals, inittable)
showsudoku(Rows, Cols, Vals, resulttable)

```

この部分では数独のテーブルを整形して出力しています. showsudoku はキーが (1,1,1), ..., (9,9,9), 値が 0 か 1 である辞書を受け取る関数です.

inittable ではまず, dict.fromkeys(Init, 1) で集合から辞書に変換しています. このままでは定義域が不足している

ので、定義域が (v,r,c) の Parameter に value として渡すことで目的の辞書を作成しています。Parameter は value で渡された部分はその値を、それ以外は値を 0 とする辞書を作成するためです。また、resulttable では求解後の変数の値を辞書に dump しています。

```
sample.sudoku.showsudoku (Rows, Cols, Vals, table)
```

```
sample.sudoku.sudoku (**kws)
```

数独

## 4.3 例題集

SIMPLE 例題集 V24 に対応したモデルの PySIMPLE による実装を同梱しています。具体的な問題は [SIMPLE 例題集 V24](#) を確認ください。

```
sample.reidaishu.p2010_mixture (**kws)
```

配合問題

```
sample.reidaishu.p2020_transport2 (**kws)
```

輸送問題

```
sample.reidaishu.p2030_multiplan2 (**kws)
```

多期間計画問題

```
sample.reidaishu.p2040_DEA (**kws)
```

包絡分析法 (DEA) モデル

```
sample.reidaishu.p2050_knapsack2 (**kws)
```

ナップサック問題

```
sample.reidaishu.p2060_cover2 (**kws)
```

集合被覆問題

```
sample.reidaishu.p2070_maxflow2 (**kws)
```

最大流問題

```
sample.reidaishu.p2071_maxflow3 (**kws)
```

最大流問題 (Matrix)

```
sample.reidaishu.p2072_mincut (**kws)
```

最小カット問題

```
sample.reidaishu.p2080_mincost2 (**kws)
```

最小費用流問題

```
sample.reidaishu.p2090_multiflow2 (**kws)
```

多品種流問題



```
sample.reidaishu.p2100_median2 (**kws)
```

p メディアン問題

```
sample.reidaishu.p2110_center2 (**kws)
```

p センター問題

```
sample.reidaishu.p2120_TSP2 (**kws)
```

巡回セールスマン問題

```
sample.reidaishu.p2132_fieldassign2 (method='auto', **kws)
```

基礎的なマス埋め割当問題

```
sample.reidaishu.p2132_fieldassign3 (method='wcsp', **kws)
```

基礎的なマス埋め割当問題 (wcsp)

```
sample.reidaishu.p2133_jobassign3 (method='auto', **kws)
```

仕事割当問題

```
sample.reidaishu.p2133_jobassign4 (method='wcsp', **kws)
```

仕事割当問題 (wcsp)

```
sample.reidaishu.p2140_QAP (**kws)
```

二次割当問題

```
sample.reidaishu.p2150_FPP (**kws)
```

設備計画問題

```
sample.reidaishu.p2160_leastsquare2 (**kws)
```

最小二乗問題

```
sample.reidaishu.p2170_portfolio1 (**kws)
```

ポートフォリオ最適化問題

```
sample.reidaishu.p2230_maxcut2 (**kws)
```

隣接行列 (最大カット問題)

```
sample.reidaishu.p2260_pseudoinverse (**kws)
```

ムーア・ペンローズ一般逆行列

以下のコマンドを実行すると上記のすべての問題がサイレントモードで実行されます. :

```
$ python -m pysimple.sample
```

以下のコマンドを実行するとチュートリアルすべての問題が実行されます. :

```
$ python -m pysimple.sample.tutorial
```

問題ごとに実行することもできます. :

```
$ python -m pysimple.sample.tutorial oil7
```

以下のコマンドを実行すると数独の問題が実行されます. :

```
$ python -m pysimple.sample.sudoku
```

問題ごとに実行することもできます. :

```
$ python -m pysimple.sample.sudoku sudoku
```

以下のコマンドを実行すると例題集のすべての問題が実行されます. :

```
$ python -m pysimple.sample.reidaishu
```

問題ごとに実行することもできます. :

```
$ python -m pysimple.sample.reidaishu p2010_mixture
```

## 第 5 章

# API ドキュメント

PySIMPLE の API ドキュメントです。

### 5.1 クラス

コンストラクタが公開されているクラスは，すべての引数をキーワード引数として呼び出さなければなりません。複数の引数を持たせる場合，キーワード引数の順序は任意です。

インスタンス間に定義されている演算については [演算](#) を参照してください。

#### 5.1.1 集合

```
class pysimple.Set (name=None, value=None, dim=None)
```

ベースクラス: `collections.abc.Set`

集合を表すクラスです。Set はすべて順序を持っています。オブジェクトの生成後は値を変更できません。

パラメータ

- **name** (*string*) -- 省略した場合は自動で与えられます。オブジェクトの生成後に変更できます。
- **value** (*iterable*) -- イテラブルなオブジェクトを指定します。多次元の場合は `tuple` の列を与えます。省略した場合は空集合が作成されます。
- **dim** (*integer*) -- 省略できます。多次元の空集合を作成する場合は明示的に指定する必要があります。

例外

- **TypeError** -- {} keyword argument 'dim' must be positive integer ({} given)

- **TypeError** -- {} object is not iterable
- **ValueError** -- dimension mismatch
- **ValueError** -- empty data: {}
- **ValueError** -- illegal type data: {}

#### サンプル

```
>>> Set(value=[1,2], name='I')
Set(name='I', value=[1, 2])
>>> Set(value=range(3))
Set(value=[0, 1, 2])
>>> Set(value='XYZ')
Set(value=['X', 'Y', 'Z'])
>>> Set(value=[(1,3), (1,4), (2,3)])
Set(dim=2, value=[(1, 3), (1, 4), (2, 3)])
>>> Set()
Set()
>>> Set(dim=2)
Set(dim=2)
```

#### `__call__`(\*slc)

各次元を射影した集合を返します。

パラメータ **\*slc** (*non-negative integers*) -- 射影する次元の列です (0 始まり). 1 つ以上必要です.

戻り値

戻り値の型 *Set*

例外

- **TypeError** -- slice of {} takes at least 1 argument (0 given)
- **TypeError** -- slice of {} indices must be non-negative integers
- **IndexError** -- slice index out of range

## サンプル

```

>>> I = Set(value=[(1,3), (1,4), (2,3)], name='I')
>>> I(0)
Set(name='I(0)', value=[1, 2])
>>> I(1)
Set(name='I(1)', value=[3, 4])
>>> I(2)
IndexError: slice index out of range
>>> I(1, 0, 1)
Set(name='I(1,0,1)', dim=3, value=[(3, 1, 3), (4, 1, 4), (3, 2, 3)])
>>> I()
TypeError: slice of 'I' takes at least 1 argument (0 given)

```

**\_\_contains\_\_**(key)

key が要素に含まれているかを返します.

パラメータ **key** (*data-type*) --

戻り値

戻り値の型 bool

---

注釈: Element のうち、集合に含まれる部分を表現したい場合は比較演算子を用いてください.

---

## 参考:

pysimple.\_\_lt\_\_, pysimple.\_\_gt\_\_

## サンプル

```

>>> I = Set(value=[1,2], name='I')
>>> 0 in I
False
>>> 1 in I
True
>>> i = Element(value=[1,2], name='i')
>>> i in I
TypeError: unsupported operand type(s) for 'Element' in 'Set', use 'i < I'
↳ instead of 'i in I'
>>> J = Set(value=[(1,3), (1,4), (2,3)], name='J')
>>> (2,3) in J
True
>>> (2,4) in J
False

```

`__getitem__(key)`

Set の key 番目の要素を返します。key には負数やスライスも指定できます。

パラメータ **key** (integer or *element-like* or slice) --

戻り値 key が integer の場合は Set の要素を, *element-like* の場合は Parameter を slice の場合は Set を返します。

戻り値の型 *data-type* or Parameter or Set

例外

- **IndexError** -- Set index out of range
- **TypeError** -- Set indices must be integers, not {}
- **TypeError** -- cannot apply {} to multidimensional Set

参考:

*pysimple.Set.next*, *pysimple.Set.prev*, *pysimple.Set.index*

サンプル

```
>>> S = Set(value='XY', name='S')
>>> S[-3]
IndexError: Set index out of range
>>> S[-2]
'X'
>>> S[-1]
'Y'
>>> S[0]
'X'
>>> S[1]
'Y'
>>> S[2]
IndexError: Set index out of range
>>> S['foo']
TypeError: Set indices must be integers, not str
>>> i = Element(value=[-2, 1], name='i')
>>> S[i]
S[i][-2]='X'
S[i][1]='Y'
>>> I = Set(value=range(5), name='I')
>>> I
Set(name='I', value=[0, 1, 2, 3, 4])
>>> I[2:]
Set(name='I[2:]', value=[2, 3, 4])
```

**\_\_iter\_\_()**`iter(self)` を返します。

戻り値

戻り値の型 `iterator`

サンプル

```

>>> I = Set(value=[1,2])
>>> for i in I:
...     print(i)
...
(1,)
(2,)
>>> IJ = Set(value=[(1,3), (1,4), (2,3)])
>>> for ij in IJ:
...     print(ij)
...
(1, 3)
(1, 4)
(2, 3)

```

---

注釈: 次元に関わらず、値は常にタプルとして返されることに注意してください。

---

**index**(*key*)`key` が `Set` の何番目の要素であるかを返します。パラメータ **key** (*data-type* or *element-like*) --戻り値 `key` が *data-type* の場合は `int` を、*element-like* の場合は `Parameter` を返します。戻り値の型 `int` or *Parameter*例外 **ValueError** -- `{}` is not in `{}`

参考:

`pysimple.Set.__getitem__`, `pysimple.Set.next`, `pysimple.Set.prev`

## サンプル

```
>>> S = Set(value='XY', name='S')
>>> S.index('X')
0
>>> S.index('Y')
1
>>> S.index('Z')
ValueError: Z is not in Set
>>> s = Element(set=S, name='s')
>>> S.index(s)
S.index(s) ['X']=0
S.index(s) ['Y']=1
>>> t = Element(value='YZ', name='t')
>>> S.index(t)
ValueError: Z is not in Set
```

**property name**

name 属性です。値は文字列の代入により変更できます。

**next (key)**

Set における key の次の要素を返します。

パラメータ **key** (*data-type* or *element-like*) --

戻り値 key が *data-type* の場合は Set の要素を, *element-like* の場合は Parameter を返します。

戻り値の型 *data-type* or Parameter

例外

- **KeyError** --
- **IndexError** -- Set index out of range
- **TypeError** -- cannot apply {} to multidimensional Set

参考:

`pysimple.Set.__getitem__`, `pysimple.Set.prev`, `pysimple.Set.index`



## サンプル

```

>>> XYZ = Set(value='XYZ', name='XYZ')
>>> XYZ.next('X')
'Y'
>>> XYZ.next('Y')
'Z'
>>> XYZ.next('Z')
IndexError: Set index out of range
>>> XYZ.next('W')
KeyError: 'W'
>>> xy = Element(value='XY', name='xy')
>>> XYZ.next(xy)
XYZ.next(xy) ['X']='Y'
XYZ.next(xy) ['Y']='Z'
>>> yz = Element(value='YZ', name='yz')
>>> XYZ.next(yz)
IndexError: Set index out of range

```

**prev**(key)

Set における key の前の要素を返します。

パラメータ **key** (*data-type* or *element-like*) --

戻り値 key が *data-type* の場合は Set の要素を, *element-like* の場合は Parameter を返します。

戻り値の型 *data-type* or Parameter

例外

- **KeyError** --
- **IndexError** -- Set index out of range
- **TypeError** -- cannot apply {} to multidimensional Set

参考:

`pysimple.Set.__getitem__`, `pysimple.Set.next`, `pysimple.Set.index`

## サンプル

```
>>> XYZ = Set(value='XYZ', name='XYZ')
>>> XYZ.prev('Z')
'Y'
>>> XYZ.prev('Y')
'X'
>>> XYZ.prev('X')
IndexError: Set index out of range
>>> XYZ.prev('W')
KeyError: 'W'
>>> yz = Element(value='YZ', name='yz')
>>> XYZ.prev(yz)
XYZ.prev(yz) ['Y']='X'
XYZ.prev(yz) ['Z']='Y'
>>> xy = Element(value='XY', name='xy')
>>> XYZ.prev(xy)
IndexError: Set index out of range
```

バージョン 1.1.0 で追加: `__getitem__()` に *slice* が使用可能になりました。

## 5.1.2 添字

**class** `pysimple.Element` (*name=None, set=None, value=None, dim=None*)

添字を表すクラスです。

集合と添字を対応付けます。集合の要素を直接与えることもできます。 `set` キーワードと `value` キーワードのいずれか一方を指定する必要があります。要素を確認する場合は `set` 属性を参照してください。

## パラメータ

- **name** (*string*) -- 省略した場合は自動で与えられます。オブジェクトの生成後に変更できません。
- **set** (*Set*) -- 対応する集合です。 `value` キーワードと併用できません。
- **value** (*iterable*) -- `Set` の `value` キーワードと同じです。 `set` キーワードと併用できません。
- **dim** (*integer*) -- 省略できます。多次元の空の添字を作成する場合は明示的に指定する必要があります。

例外 **TypeError** -- Element can only take either keyword argument 'set' or 'value' (no or both keyword arguments given)

## サンプル

```
>>> I = Set(value=[1,2], name='I')
>>> i = Element(set=I, name='i')
>>> i.set
Set(name='I', value=[1, 2])
>>> j = Element(value=[1,2], name='j')
>>> j.set
Set(name='j.set', value=[1, 2])
```

**\_\_abs\_\_**(*obj*)パラメータ **obj** (*funcable-type*) --

戻り値 **obj** が *data-type* の場合は `math.fabs(obj)` の結果を, それ以外の場合は `math.fabs` を各要素に適用した `Parameter` を返す.

戻り値の型 `number` or *Parameter***\_\_call\_\_**(\**slc*)

各次元を射影した添字を返します.

パラメータ **\*slc** (*non-negative integers*) -- 射影する次元の列です (0 始まり). 1 つ以上必要です.

戻り値

戻り値の型 *ElementSlice*

例外

- **TypeError** -- slice of {} takes at least 1 argument (0 given)
- **IndexError** -- slice index out of range

## サンプル

```
>>> i = Element(value=[(1,3), (1,4), (2,3)], name='i')
>>> i(0).set
Set(name='i.set(0)', value=[1, 2])
>>> i(1).set
Set(name='i.set(1)', value=[3, 4])
>>> i(2).set
IndexError: slice index out of range
>>> i(1,0,1).set
Set(name='i.set(1,0,1)', dim=3, value=[(3, 1, 3), (4, 1, 4), (3, 2, 3)])
>>> i()
TypeError: slice of 'Element' takes at least 1 argument (0 given)
```

`__ceil__(obj)`

パラメータ `obj` (*funcable-type*) --

戻り値 `obj` が *data-type* の場合は `math.ceil(obj)` の結果を、それ以外の場合は `math.ceil` を各要素に適用した `Parameter` を返す。

戻り値の型 `number` or *Parameter*

`__floor__(obj)`

パラメータ `obj` (*funcable-type*) --

戻り値 `obj` が *data-type* の場合は `math.floor(obj)` の結果を、それ以外の場合は `math.floor` を各要素に適用した `Parameter` を返す。

戻り値の型 `number` or *Parameter*

**property name**

`name` 属性です。値は文字列の代入により変更できます。

**property set**

対応する集合を表す属性です。

**class** `pysimple.element.ElementSlice`

`Element` のスライスに対して生成されるクラスです。

`ElementSlice` クラスは `__call__()` がないこと以外は、ほぼ *Element* と同じです。`ElementSlice` クラスのコンストラクタは公開されません。

**class** `pysimple.condition.Cond`

`Condition` 関数などの条件付けによって生成されるクラスです。`Cond` オブジェクトは添字のように使用することができます。

サンプル

```
>>> ij = Element(value=[(1,3), (1,4), (2,3)], name='ij')
>>> ij(1)!=4
(ij(1)!=4)[ij(1)] in [3]
>>> Condition(ij, ij(1)!=4)
(ij, (ij(1)!=4))[ij] in [(1, 3), (2, 3)]
>>> (ij(0)!=2) & (ij(1)!=4)
((ij(0)!=2)&(ij(1)!=4))[ij(0),ij(1)] in [(1, 3)]
>>> i = Element(value=[1,2,3,4], name='i')
>>> i < [2,4,6,8]
(i<[2, 4, 6, 8])[i] in [2, 4]
```

参考:

`pysimple.Condition`

Cond クラスのコンストラクタは公開されません。

### 5.1.3 定数

**class** `pysimple.Parameter` (*name=None, index=None, value=0*)

定数を表すクラスです。

パラメータ

- **name** (*string*) -- 省略した場合は自動で与えられます。オブジェクトの生成後に変更できます。
- **index** (Set or *element-like* or tuple of them) -- Parameter の添字。省略した場合、添字なしの定数となります。
- **value** (*data-type* or dict) -- Parameter の値。 *data-type* の場合、すべての要素に対して同じ値が適用されます。dict の場合、指定された要素の値が適用されます。オブジェクトの生成後に変更できます。

例外 **KeyError** -- extra key {} in value of Parameter

サンプル

```
>>> i = Element(value=[1,2], name='i')
>>> a = Parameter(index=i, name='a')
>>> a
a[1]=0
a[2]=0
>>> b = Parameter(index=i, value=1, name='b')
>>> b
b[1]=1
b[2]=1
>>> c = Parameter(index=i, value={2: 2}, name='c')
>>> c
c[1]=0
c[2]=2
>>> j = Element(value=[3,4], name='j')
>>> d = Parameter(index=(i,j), name='d')
>>> d
d[1,3]=0
d[1,4]=0
d[2,3]=0
```

(次のページに続く)

(前のページからの続き)

```
d[2,4]=0
>>> e = Parameter(value=1, name='e')
>>> e
e=1
```

**\_\_abs\_\_**(*obj*)パラメータ **obj** (*funcable-type*) --

戻り値 **obj** が *data-type* の場合は `math.fabs(obj)` の結果を、それ以外の場合は `math.fabs` を各要素に適用した `Parameter` を返す。

戻り値の型 `number` or *Parameter***\_\_bool\_\_**()

`Parameter` の真偽値 `bool(self)` を返します。index なしの場合、`value` の真偽値を返します。index ありの場合、`TypeError` が送出されます。

#### サンプル

```
>>> a = Parameter(value=3)
>>> bool(a)
True
>>> b = Parameter()
>>> bool(b)
False
>>> i = Element(value=[1,2])
>>> c = Parameter(index=i)
>>> bool(c)
TypeError: unsupported cast type(s) for bool: 'Parameter'
```

**\_\_ceil\_\_**(*obj*)パラメータ **obj** (*funcable-type*) --

戻り値 **obj** が *data-type* の場合は `math.ceil(obj)` の結果を、それ以外の場合は `math.ceil` を各要素に適用した `Parameter` を返す。

戻り値の型 `number` or *Parameter***\_\_contains\_\_**(*key*)

*key* がキーに含まれているかを返します。

戻り値

戻り値の型 `bool`

**\_\_float\_\_()**

Parameter から浮動小数への変換 `float(self)` を返します。index なしの場合、value の浮動小数値を返します。index ありの場合、TypeError が送出されます。

## サンプル

```
>>> a = Parameter(value=3)
>>> float(a)
3.0
>>> b = Parameter()
>>> float(b)
0.0
>>> i = Element(value=[1,2])
>>> c = Parameter(index=i)
>>> float(c)
TypeError: unsupported cast type(s) for float: 'Parameter'
```

**\_\_floor\_\_(obj)**

パラメータ **obj** (*funcable-type*) --

戻り値 obj が *data-type* の場合は `math.floor(obj)` の結果を、それ以外の場合は `math.floor` を各要素に適用した Parameter を返す。

戻り値の型 number or *Parameter*

**\_\_getitem\_\_(key)**

key に対応した添字の Parameter を返します。

パラメータ **key** (*funcable-type* or tuple of them) --

戻り値 key がすべて *data-type* の場合、*data-type* を返します。それ以外の場合、Parameter を返します。

戻り値の型 *data-type* or Parameter

例外

- **KeyError** -- key がキーに存在しない場合
- **KeyError** -- '{}' takes {} dimension index ({} given)

## サンプル

```
>>> I = Set(value=[1,2]); i = Element(set=I, name='i')
>>> J = Set(value=[3,4]); j = Element(set=J, name='j')
>>> a = Parameter(index=(i,j), value={ij: sum(ij) for ij in I*J}, name='a')
>>> a[i,j]
a[1,3]=4
a[1,4]=5
a[2,3]=5
a[2,4]=6
>>> a[i,3]
a[1,3]=4
a[2,3]=5
>>> a[2,3]
5
>>> ij = Element(value=[(1,3), (1,4), (2,3)], name='ij')
>>> a[ij]
a[1,3]=4
a[1,4]=5
a[2,3]=5
>>> a[1,5]
KeyError: 'a[1,5]'
```

```
>>> b = Parameter(index=j, value={3: 4, 4: 3}, name='b')
>>> a[i, b[j]]
a[i,b[j]][1,3]=5
a[i,b[j]][1,4]=4
a[i,b[j]][2,3]=6
a[i,b[j]][2,4]=5
```

---

**\_\_int\_\_()**

Parameter から整数への変換 `int(self)` を返します。index なしの場合, value の整数値を返します。index ありの場合, `TypeError` が送出されます。

## サンプル

```
>>> a = Parameter(value=3)
>>> int(a)
3
>>> b = Parameter()
>>> int(b)
0
>>> i = Element(value=[1,2])
>>> c = Parameter(index=i)
>>> int(c)
TypeError: unsupported cast type(s) for int: 'Parameter'
```

---

**\_\_iter\_\_()**



`iter(self)` を返します.

戻り値

戻り値の型 `iterator`

#### サンプル

```
>>> i = Element(value=[1,2])
>>> a = Parameter(index=i)
>>> for _i in a:
...     print(_i)
...
(1,)
(2,)
>>> ij = Element(value=[(1,3), (1,4), (2,3)])
>>> b = Parameter(index=ij)
>>> for _ij in b:
...     print(_ij)
...
(1, 3)
(1, 4)
(2, 3)
```

---

注釈: 次元に関わらず, 値は常にタプルとして返されることに注意してください.

---

`__len__()`

Return `len(self)`.

`__round__(ndigits=None)`

値の小数部を `ndigits` 桁に丸めた値を返します. `ndigits` が省略された場合, 最も近い整数を返します.

パラメータ `ndigits` (`int`) -- 小数部を丸める桁数です. 0 や負数の場合, 整数部となります.

戻り値

戻り値の型 *Parameter*

## サンプル

```
>>> i = Element(value=[1, 2, 3], name='i')
>>> a = Parameter(index=i, value={1: 1, 2: 2.0000, 3: 3.1415}, name='a')
>>> a
a[1]=1
a[2]=2.0
a[3]=3.1415
>>> round(a[i])
round(a[i])[1]=1
round(a[i])[2]=2
round(a[i])[3]=3
>>> round(a[i], 0)
round(a[i], 0)[1]=1
round(a[i], 0)[2]=2.0
round(a[i], 0)[3]=3.0
>>> round(a[i], 2)
round(a[i], 2)[1]=1
round(a[i], 2)[2]=2.0
round(a[i], 2)[3]=3.14
```

`__setitem__(key, value)`

key に対応した値を変更します。

パラメータ **key** (*funcable-type* or tuple of them) --

例外 **KeyError** -- key がキーに存在しない場合

## サンプル

```
>>> i = Element(value=[1,2], name='i')
>>> j = Element(value=[3,4], name='j')
>>> a = Parameter(index=(i,j), name='a')
>>> a[i,j] = 1
>>> a
a[1,3]=1
a[1,4]=1
a[2,3]=1
a[2,4]=1
>>> a[i,3] = i*10
>>> a
a[1,3]=10
a[1,4]=1
a[2,3]=20
a[2,4]=1
>>> a[2,3] = 100
>>> a
a[1,3]=10
```

(次のページに続く)

(前のページからの続き)

```

a[1,4]=1
a[2,3]=100
a[2,4]=1
>>> ij = Element(value=[(1,3), (1,4), (2,3)], name='ij')
>>> a[ij] = 0
>>> a
a[1,3]=0
a[1,4]=0
a[2,3]=0
a[2,4]=1
>>> a[1,5] = 1
KeyError: 'a[1,5]'
>>> b = Parameter(index=j, value={3: 4, 4: 3}, name='b')
>>> a[i, b[j]] = i+j
>>> a
a[1,3]=5
a[1,4]=4
a[2,3]=6
a[2,4]=5

```

**get** (*key*, *default=None*)

*key* がキーに存在する場合は対応する値を、存在しない場合は *default* を返します。

**items** ()

キーと値ペアの列を返します。

**keys** ()

`iter(self)` と同じです。

参考:

`pysimple.Parameter.__iter__`

**property name**

*name* 属性です。値は文字列の代入により変更できます。

**values** ()

値の列を返します。

バージョン 1.3.0 で追加: `__round__()` が使用可能になりました。

**class** `pysimple.table.Table`

`.val` などの属性を表すクラスです。

`Table` クラスは `__getitem__()` と `__setitem__()` がないこと以外は、ほぼ `Parameter` と同じです。

`Table` クラスのコンストラクタは公開されません。

`init`, `val`, `lb`, `ub`, `dual`, `init`, `val`, `dual`, `violation` が `Table` クラスに該当します。

### 5.1.4 変数, 式

```
class pysimple.Variable (name=None,    index=None,    type=float,    init=0,    lb=float('-inf'),  
                        ub=float('inf'))  
ベースクラス: collections.abc.Collection
```

変数を表すクラスです。

#### パラメータ

- **name** (*string*) -- 省略した場合は自動で与えられます。オブジェクトの生成後に変更できます。
- **index** (Set or *element-like* or tuple of them) -- `Variable` の添字。省略した場合、添字なしの変数となります。
- **type** (*float or int or bin*) -- 組み込み関数の `float`, `int`, `bin` を指定します。それぞれ連続変数, 整数変数, 0-1 整数変数を意味します。 `bin` が指定された場合, 自動で `lb=0`, `ub=1` が設定されます。オブジェクトの生成後に変更できます。
- **init** (*data-type* or dict) -- `Variable` の初期値。 *data-type* の場合, すべての要素に対して同じ値が適用されます。 dict の場合, 指定された要素の値が適用されます。オブジェクトの生成後に変更できます。
- **lb** (*data-type* or dict) -- `Variable` の下限値。
- **ub** (*data-type* or dict) -- `Variable` の上限値。

#### 例外

- **TypeError** -- 'type' keyword only takes built-in function 'float', 'int' or 'bin'
- **SimpleError** -- infeasible bound of variable {} ( defined infeasible bound [{ } <= \* <= { } )

#### サンプル

```
>>> i = Element (value=[1,2], name='i')  
>>> x = Variable (index=i, name='x')  
>>> x  
x:  
x[1]  
x[2]  
>>> x.init  
x[1].init=0  
x[2].init=0
```

(次のページに続く)

(前のページからの続き)

```

>>> x.val
x[1].val=0
x[2].val=0
>>> y = Variable(index=i, init=1, name='y')
>>> y.val
y[1].val=1
y[2].val=1
>>> z = Variable(index=i, init={2: 2}, name='z')
>>> z.val
z[1].val=0
z[2].val=2
>>> j = Element(value=[3,4], name='j')
>>> w = Variable(index=(i,j), name='w')
>>> w.val
w[1,3].val=0
w[1,4].val=0
w[2,3].val=0
w[2,4].val=0
>>> u = Variable(name='u')
>>> u.val
u.val=0

```

**参考:**

`pysimple.Variable.type`, `pysimple.Variable.init`, `pysimple.Variable.val`,  
`pysimple.Variable.lb`, `pysimple.Variable.ub`

**\_\_contains\_\_**(key)

key がキーに含まれているかを返します。

戻り値

戻り値の型 `bool`**\_\_getitem\_\_**(key)

key に対応した添字の Variable を返します。

パラメータ **key** (*funcable-type* or tuple of them) --

戻り値

戻り値の型 *Variable*例外 **KeyError** -- key がキーに存在しない場合

## サンプル

```
>>> I = Set(value=[1,2]); i = Element(set=I, name='i')
>>> J = Set(value=[3,4]); j = Element(set=J, name='j')
>>> x = Variable(index=(i,j), init={ij: sum(ij) for ij in I*J}, name='x')
>>> x[i,j].val
x[1,3].val=4
x[1,4].val=5
x[2,3].val=5
x[2,4].val=6
>>> x[i,3].val
x[1,3].val=4
x[2,3].val=5
>>> x[2,3].val
5
>>> ij = Element(value=[(1,3), (1,4), (2,3)], name='ij')
>>> x[ij].val
x[1,3].val=4
x[1,4].val=5
x[2,3].val=5
>>> x[1,5]
KeyError: 'x[1,5] '
>>> b = Parameter(index=j, value={3: 4, 4: 3}, name='b')
>>> x[i, b[j]].val
x[i,b[j]][1,3].val=5
x[i,b[j]][1,4].val=4
x[i,b[j]][2,3].val=6
x[i,b[j]][2,4].val=5
```

**\_\_iter\_\_()**

iter(self) を返します.

戻り値

戻り値の型 iterator

## サンプル

```
>>> i = Element(value=[1,2])
>>> x = Variable(index=i)
>>> for _i in x:
...     print(_i)
...
(1,)
(2,)
>>> ij = Element(value=[(1,3), (1,4), (2,3)])
>>> y = Variable(index=ij)
>>> for _ij in y:
```

(次のページに続く)

(前のページからの続き)

```
...     print(_ij)
...
(1, 3)
(1, 4)
(2, 3)
```

注釈: 次元に関わらず, 値は常にタプルとして返されることに注意してください.

`__len__()`

キーの要素数を返します.

戻り値

戻り値の型 `int`

`__setitem__(key, value)`

`key` に対応した値を変更します. 値は `val` で確認できます.

パラメータ **key** (*funcable-type* or tuple of them) --

例外 **KeyError** -- `key` がキーに存在しない場合

### サンプル

```
>>> i = Element(value=[1,2], name='i')
>>> j = Element(value=[3,4], name='j')
>>> x = Variable(index=(i,j), name='x')
>>> x[i,j] = 1
>>> x.val
x[1,3].val=1
x[1,4].val=1
x[2,3].val=1
x[2,4].val=1
>>> x[i,3] = i*10
>>> x.val
x[1,3].val=10
x[1,4].val=1
x[2,3].val=20
x[2,4].val=1
>>> x[2,3] = 100
>>> x.val
x[1,3].val=10
x[1,4].val=1
x[2,3].val=100
```

(次のページに続く)

(前のページからの続き)

```

x[2,4].val=1
>>> ij = Element(value=[(1,3), (1,4), (2,3)], name='ij')
>>> x[ij] = 0
>>> x.val
x[1,3].val=0
x[1,4].val=0
x[2,3].val=0
x[2,4].val=1
>>> x[1,5] = 1
KeyError: 'x[1,5]'
>>> b = Parameter(index=j, value={3: 4, 4: 3}, name='b')
>>> x[i, b[j]] = i+j
>>> x.val
x[1,3].val=5
x[1,4].val=4
x[2,3].val=6
x[2,4].val=5

```

**property dual**

変数の双対変数値を表す属性です。値は求解時に更新されます。オブジェクト生成時の値は None です。

**property init**

変数の初期値を表す属性です。値は初期化、値の代入、求解時に更新されます。求解時には .val 属性の値からコピーされます。

**サンプル**

```

>>> p = Problem(silent=True)
>>> i = Element(value=[1,2])
>>> x = Variable(index=i, init=2, lb=1, name='x')
>>> x.init
x[1].init=2
x[2].init=2
>>> x[2] = 3
>>> x.init
x[1].init=2
x[2].init=3
>>> p += Sum(x[i])
>>> p.solve()
1
>>> x.init
x[1].init=2
x[2].init=3
>>> p.solve()
1

```

(次のページに続く)



(前のページからの続き)

```
>>> x.init
x[1].init=1.0000000002083331
x[2].init=1.0000000002083331
```

**参考:***pysimple.Variable.val***property lb**

変数の下限値を表す属性です。値は初期化時にのみ更新されます。初期化時に `type=bin` を指定すると `lb=0` が設定されます。

**サンプル**

```
>>> i = Element(value=[1,2], name='i')
>>> x = Variable(index=i, name='x')
>>> x.lb
x[1].lb=-inf
x[2].lb=-inf
>>> y = Variable(index=i, lb=0, name='y')
>>> y.lb
y[1].lb=0
y[2].lb=0
>>> z = BinaryVariable(index=i, name='z')
>>> z.lb
z[1].lb=0
z[2].lb=0
```

**参考:***pysimple.Variable.type, pysimple.Variable.ub***property name**

`name` 属性です。値は文字列の代入により変更できます。

**property type**

変数の種類を表す属性です。値は代入により変更できます。組み込み関数の `float`, `int`, `bin` を指定します。それぞれ連続変数, 整数変数, 0-1 整数変数を意味します。

### サンプル

```
>>> x = Variable()
>>> x.type
<class 'float'>
>>> x.type = int
>>> x.type
<class 'int'>
>>> x.type = bin
>>> x.type
<built-in function bin>
>>> x.type = bool
TypeError: 'type' keyword only takes built-in function 'float', 'int' or 'bin'
>>> y1 = Variable(type=int)
>>> y1.type
<class 'int'>
>>> y2 = IntegerVariable()
>>> y2.type
<class 'int'>
```

### 参考:

*pysimple.Variable.lb*, *pysimple.Variable.ub*, *pysimple.IntegerVariable*,  
*pysimple.BinaryVariable*

### property ub

変数の上限値を表す属性です。値は初期化時にのみ更新されます。初期化時に `type=bin` を指定すると `ub=1` が設定されます。

### サンプル

```
>>> i = Element(value=[1,2], name='i')
>>> x = Variable(index=i, name='x')
>>> x.ub
x[1].ub=inf
x[2].ub=inf
>>> y = Variable(index=i, ub=1, name='y')
>>> y.ub
y[1].ub=1
y[2].ub=1
>>> z = BinaryVariable(index=i, name='z')
>>> z.ub
z[1].ub=1
z[2].ub=1
```

### 参考:

*pysimple.Variable.type*, *pysimple.Variable.lb*

**property val**

変数の現在値を表す属性です。値は初期化、値の代入、求解時に更新されます。

## サンプル

```
>>> p = Problem(silent=True)
>>> i = Element(value=[1,2])
>>> x = Variable(index=i, init=2, lb=1, name='x')
>>> x.val
x[1].val=2
x[2].val=2
>>> x[2].val
2
>>> x[2] = 3
>>> x.val
x[1].val=2
x[2].val=3
>>> p += Sum(x[i])
>>> p.solve()
1
>>> x.val
x[1].val=1.0000000002083331
x[2].val=1.0000000002083331
```

## 参考:

`pysimple.Variable.init`

**class** `pysimple.IntegerVariable` (`name=None`, `index=None`, `type=float`, `init=0`, `lb=float('-inf')`,  
`ub=float('inf')`)

整数変数を表すクラスです。 `Variable(type=int, ..)` と等価です。 `type` キーワードはありません。

## パラメータ

- **name** (*string*) -- 省略した場合は自動で与えられます。オブジェクトの生成後に変更できます。
- **index** (Set or *element-like* or tuple of them) -- `Variable` の添字。省略した場合、添字なしの変数となります。
- **type** (*float or int or bin*) -- 組み込み関数の `float`, `int`, `bin` を指定します。それぞれ連続変数、整数変数、0-1 整数変数を意味します。 `bin` が指定された場合、自動で `lb=0`, `ub=1` が設定されます。オブジェクトの生成後に変更できます。
- **init** (*data-type* or dict) -- `Variable` の初期値。 *data-type* の場合、すべての要素に対して同じ値が適用されます。 dict の場合、指定された要素の値が適用されます。オブジェクトの生成後に変更できます。

- **lb** (*data-type* or dict) -- Variable の下限値.
- **ub** (*data-type* or dict) -- Variable の上限値.

#### 例外

- **TypeError** -- 'type' keyword only takes built-in function 'float', 'int' or 'bin'
- **SimpleError** -- infeasible bound of variable {} ( defined infeasible bound [{ } <= \* <= { } ] )

#### サンプル

```
>>> i = Element(value=[1,2], name='i')
>>> x = Variable(index=i, name='x')
>>> x
x:
x[1]
x[2]
>>> x.init
x[1].init=0
x[2].init=0
>>> x.val
x[1].val=0
x[2].val=0
>>> y = Variable(index=i, init=1, name='y')
>>> y.val
y[1].val=1
y[2].val=1
>>> z = Variable(index=i, init={2: 2}, name='z')
>>> z.val
z[1].val=0
z[2].val=2
>>> j = Element(value=[3,4], name='j')
>>> w = Variable(index=(i,j), name='w')
>>> w.val
w[1,3].val=0
w[1,4].val=0
w[2,3].val=0
w[2,4].val=0
>>> u = Variable(name='u')
>>> u.val
u.val=0
```

#### 参考:

`pysimple.Variable.type`, `pysimple.Variable.init`, `pysimple.Variable.val`,  
`pysimple.Variable.lb`, `pysimple.Variable.ub`

```
class pysimple.BinaryVariable (name=None, index=None, type=float, init=0, lb=float('-inf'),
                               ub=float('inf'))
```

0-1 整数変数を表すクラスです。Variable(type=bin, ..) と等価です。type キーワードはありません。

#### パラメータ

- **name** (*string*) -- 省略した場合は自動で与えられます。オブジェクトの生成後に変更できます。
- **index** (Set or *element-like* or tuple of them) -- Variable の添字。省略した場合、添字なしの変数となります。
- **type** (*float or int or bin*) -- 組み込み関数の float, int, bin を指定します。それぞれ連続変数、整数変数、0-1 整数変数を意味します。bin が指定された場合、自動で lb=0, ub=1 が設定されます。オブジェクトの生成後に変更できます。
- **init** (*data-type* or dict) -- Variable の初期値。data-type の場合、すべての要素に対して同じ値が適用されます。dict の場合、指定された要素の値が適用されます。オブジェクトの生成後に変更できます。
- **lb** (*data-type* or dict) -- Variable の下限値。
- **ub** (*data-type* or dict) -- Variable の上限値。

#### 例外

- **TypeError** -- 'type' keyword only takes built-in function 'float', 'int' or 'bin'
- **SimpleError** -- infeasible bound of variable {} ( defined infeasible bound [{ } <= \* <= { } ] )

#### サンプル

```
>>> i = Element(value=[1,2], name='i')
>>> x = Variable(index=i, name='x')
>>> x
x:
x[1]
x[2]
>>> x.init
x[1].init=0
x[2].init=0
>>> x.val
x[1].val=0
x[2].val=0
>>> y = Variable(index=i, init=1, name='y')
>>> y.val
y[1].val=1
y[2].val=1
```

(次のページに続く)

(前のページからの続き)

```
>>> z = Variable(index=i, init={2: 2}, name='z')
>>> z.val
z[1].val=0
z[2].val=2
>>> j = Element(value=[3,4], name='j')
>>> w = Variable(index=(i,j), name='w')
>>> w.val
w[1,3].val=0
w[1,4].val=0
w[2,3].val=0
w[2,4].val=0
>>> u = Variable(name='u')
>>> u.val
u.val=0
```

参考:

`pysimple.Variable.type`, `pysimple.Variable.init`, `pysimple.Variable.val`,  
`pysimple.Variable.lb`, `pysimple.Variable.ub`

**class** `pysimple.expression.QVariable`

ベースクラス: `pysimple.expression.Variable`

二次の変数を表すクラスです。

`QVariable` クラスのコンストラクタは公開されません。

**class** `pysimple.expression.Expression` (*name, objs, infoitems, const=None, orig=None*)

ベースクラス: `collections.abc.Collection`

式を表すクラスです。

**\_\_contains\_\_** (*key*)

*key* がキーに含まれているかを返します。

戻り値

戻り値の型 `bool`

**\_\_getitem\_\_** (*key*)

*key* に対応した添字の `Expression` を返します。

パラメータ **key** (*funcable-type* or tuple of them) --

戻り値

戻り値の型 `Expression`

例外 **KeyError** -- *key* がキーに存在しない場合

## サンプル

```

>>> I = Set(value=[1,2]); i = Element(set=I, name='i')
>>> J = Set(value=[3,4]); j = Element(set=J, name='j')
>>> x = Variable(index=(i,j), init={ij: sum(ij) for ij in I*J}, name='x')
>>> e = x[i,j] + 1
>>> e[i,j].val
(x[i,j]+1)[1,3].val=5
(x[i,j]+1)[1,4].val=6
(x[i,j]+1)[2,3].val=6
(x[i,j]+1)[2,4].val=7
>>> e[i,3].val
(x[i,j]+1)[1,3].val=5
(x[i,j]+1)[2,3].val=6
>>> e[2,3].val
6
>>> ij = Element(value=[(1,3), (1,4), (2,3)], name='ij')
>>> e[ij].val
(x[i,j]+1)[1,3].val=5
(x[i,j]+1)[1,4].val=6
(x[i,j]+1)[2,3].val=6
>>> e[1,5].val
KeyError: 'x[1,5]'
>>> b = Parameter(index=j, value={3: 4, 4: 3}, name='b')
>>> e[i, b[j]].val
(x[i,j]+1)[i,b[j]][1,3].val=6
(x[i,j]+1)[i,b[j]][1,4].val=5
(x[i,j]+1)[i,b[j]][2,3].val=7
(x[i,j]+1)[i,b[j]][2,4].val=6

```

`__iter__()`

`iter(self)` を返します。

戻り値

戻り値の型 `iterator`

## サンプル

```

>>> i = Element(value=[1,2])
>>> x = Variable(index=i)
>>> x1 = x[i] + 1
>>> for _i in x1:
...     print(_i)
...
(1,)
(2,)
>>> ij = Element(value=[(1,3), (1,4), (2,3)])

```

(次のページに続く)

(前のページからの続き)

```

>>> y = Variable(index=ij)
>>> y1 = y[ij] + 1
>>> for _ij in y1:
...     print(_ij)
...
(1, 3)
(1, 4)
(2, 3)

```

注釈: 次元に関わらず, 値は常にタプルとして返されることに注意してください.

### `__len__()`

キーの要素数を返します.

戻り値

戻り値の型 `int`

### `property init`

式の初期値を表す属性です. 値は構成される変数・定数の値の更新に連動します.

### サンプル

```

>>> p = Problem(silent=True)
>>> i = Element(value=[1,2], name='i')
>>> x = Variable(index=i, init=2, lb=1, name='x')
>>> x1 = x[i] + 1
>>> x1.init
(x[i]+1)[1].init=3
(x[i]+1)[2].init=3
>>> x[2] = 3
>>> x1.init
(x[i]+1)[1].init=3
(x[i]+1)[2].init=4
>>> p += Sum(x1[i])
>>> p.solve()
1
>>> x1.init
(x[i]+1)[1].init=3
(x[i]+1)[2].init=4
>>> p.solve()
1
>>> x1.init
(x[i]+1)[1].init=2.000000000208333

```

(次のページに続く)



(前のページからの続き)

```
(x[i]+1)[2].init=2.000000000208333
```

**参考:**

*pysimple.expression.Expression.val*

**property name**

name 属性です。値は文字列の代入により変更できます。

**property val**

式の現在値を表す属性です。値は構成される変数の値の更新に連動します。

**サンプル**

```
>>> p = Problem(silent=True)
>>> i = Element(value=[1,2], name='i')
>>> x = Variable(index=i, init=2, lb=1, name='x')
>>> x1 = x[i] + 1
>>> x1.val
(x[i]+1)[1].val=3
(x[i]+1)[2].val=3
>>> x[2] = 3
>>> x1.val
(x[i]+1)[1].val=3
(x[i]+1)[2].val=4
>>> p += Sum(x1[i])
>>> p.solve()
1
>>> x1.val
(x[i]+1)[1].val=2.000000000208333
(x[i]+1)[2].val=2.000000000208333
```

**参考:**

*pysimple.expression.Expression.init*

バージョン 1.3.1 で追加: `__getitem__()` に **Parameter** が使用可能になりました。

### 5.1.5 制約式

**class** pysimple.constraint.Constraint

ベースクラス: collections.abc.Collection

制約式を表すクラスです.

Constraint クラスのコンストラクタは公開されません.

**\_\_contains\_\_** (*key*)

*key* がキーに含まれているかを返します.

戻り値

戻り値の型 bool

**\_\_getitem\_\_** (*key*)

*key* に対応した添字の Constraint を返します.

パラメータ **key** (*element-like* or tuple of them) --

戻り値

戻り値の型 *Constraint*

例外 **KeyError** -- *key* がキーに存在しない場合

#### サンプル

```
>>> I = Set(value=[1,2]); i = Element(set=I, name='i')
>>> J = Set(value=[3,4]); j = Element(set=J, name='j')
>>> x = Variable(index=(i,j), init={ij: sum(ij) for ij in I*J}, name='x')
>>> cons = x[i,j] >= 1
>>> cons[i,j]
(x[i,j]>=1):
x[1,3]>=1
x[1,4]>=1
x[2,3]>=1
x[2,4]>=1
>>> cons[i,3]
(x[i,j]>=1):
x[1,3]>=1
x[2,3]>=1
>>> cons[2,3]
(x[i,j]>=1):
x[2,3]>=1
>>> ij = Element(value=[(1,3), (1,4), (2,3)], name='ij')
>>> cons[ij]
```

(次のページに続く)

(前のページからの続き)

```
(x[i, j] >= 1):
x[1, 3] >= 1
x[1, 4] >= 1
x[2, 3] >= 1
>>> cons[1, 5]
KeyError: 'x[1, 5]'
```

**\_\_iter\_\_()**

iter(self) を返します。

戻り値

戻り値の型 `iterator`

**サンプル**

```
>>> i = Element(value=[1, 2])
>>> x = Variable(index=i)
>>> cons1 = x[i] <= 1
>>> for _i in cons1:
...     print(_i)
...
(1,)
(2,)
>>> ij = Element(value=[(1, 3), (1, 4), (2, 3)])
>>> y = Variable(index=ij)
>>> cons2 = y[ij] <= 1
>>> for _ij in cons2:
...     print(_ij)
...
(1, 3)
(1, 4)
(2, 3)
```

---

**注釈:** 次元に関わらず、値は常にタプルとして返されることに注意してください。

---

**\_\_len\_\_()**

キーの要素数を返します。

戻り値

戻り値の型 `int`

**property dual**

制約式の双対変数値を表す属性です。値は求解時に更新されます。オブジェクト生成時の値は `None`

です.

**isHard()** → bool

*weight* がハード制約の場合に **True** となります. *SelectionConstraint* では常に **True** です.

**isSemiHard()** → bool

*weight* がセミハード制約の場合に **True** となります.

**isSoft()** → bool

*weight* がソフト制約の場合に **True** となります.

**property name**

name 属性です. 値は文字列の代入により変更できます.

**property violation**

制約式の違反値を表す属性です. 両辺の現在値に対して計算されます. 不等式制約と等式制約の場合で異なり, 以下が成立します.

- (式 1 <= 式 2).violation = 式 1.val - 式 2.val
- (式 1 >= 式 2).violation = 式 2.val - 式 1.val
- (式 1 == 式 2).violation = abs(式 1.val - 式 2.val)

値は構成される変数・定数の値の更新に連動します.

### サンプル

```
>>> i = Element(value=[1,2], name='i')
>>> x = Variable(index=i, init=2, name='x')
>>> (x[i] <= 5).violation
(x[i]<=5)[1].violation=-3
(x[i]<=5)[2].violation=-3
>>> y = Variable(index=i, init=9, name='y')
>>> (y[i] <= 5).violation
(y[i]<=5)[1].violation=4
(y[i]<=5)[2].violation=4
>>> z = Variable(index=i, init=2, name='z')
>>> (z[i] == 5).violation
(z[i]==5)[1].violation=3
(z[i]==5)[2].violation=3
>>> w = Variable(index=i, init=9, name='w')
>>> (w[i] == 5).violation
(w[i]==5)[1].violation=4
(w[i]==5)[2].violation=4
```

**property weight**

制約関数で指定した制約種別です.

**class** pysimple.constraint.**SelectionConstraint**

ベースクラス: *pysimple.constraint.Constraint*

*Selection* 関数によって作成された制約を表すクラスです.

**class** pysimple.constraint.**ConstraintWeight**

制約式の種別を表すクラスです.

参考:

*HardConstraint, SemiHardConstraint, SoftConstraint*

### 5.1.6 問題, 求解オプション, 解情報

**class** pysimple.**Problem**(*name=None, type=min, silent=False, subprocess=False, solfile=None, iis=True*)

問題を表すクラスです.

パラメータ

- **name** (*string*) -- 省略した場合はクラス名になります. オブジェクトの生成後に変更できません.
- **type** (*min or max*) -- 組み込み関数の *min*, *max* を指定します. それぞれ目的関数の最小化, 最大化を意味します.
- **silent** (*bool*) -- 求解時の求解情報を標準出力に出力するか制御します. *False*: 出力する, *True*: 出力しない
- **subprocess** (*bool*) -- 求解を別プロセスとして行うかを制御します. *False*: 同一プロセスで行う, *True*: 別プロセスで行う
- **solfile** (*None or bool or string*) -- 解ファイルの出力を制御します.
  - *None or False*: 出力しない.
  - *True*: 出力する. ファイル名は *Problem.name + '.sol'* となります.
  - *string*: 出力する. ファイル名は *solfile + '.sol'* となります.
- **iis** (*bool*) -- 解が *infeasible* の場合に IIS 情報を生成するかどうか制御します. *False*: IIS 情報を生成しない, *True*: IIS 情報を生成する

---

注釈: 引数 *solfile* でファイル名を指定する場合は絶対パス名, 相対パス名のいずれでも指定することができます. また, 以下の場合に *solfile* の出力に失敗しますが, *Variable.val* 等で計算結果の取得は可能です.

- ファイル名として使用できない文字 (: \* ? " < > |) が含まれている場合

- 同名のファイルがすでに存在し、上書きの許可がない場合
  - ファイルシステムに空き容量がない場合
- 

参考:

`pysimple.Problem.solve`

`__delitem__(key)`

`del problem.constraints[key]` と等価です。

パラメータ **key** (*string or int*) -- 削除する制約式名，または追加した制約式の番号．負数の場合，逆順から参照されます。

サンプル

```
>>> p = Problem()
>>> x = Variable(name='x')
>>> y = Variable(name='y')
>>> p += x >= 1
>>> p += y >= 2, '制約式 2'
>>> p
Problem(name='Problem', type=min, silent=False, subprocess=False,
↳solfile=None, iis=True):
[constraints]
(x>=1):
x>=1
制約式 2:
y>=2
.
[objective]
None
.
>>> del p['(x>=1)']
>>> del p['制約式 2']
>>> p
Problem(name='Problem', type=min, silent=False, subprocess=False,
↳solfile=None, iis=True):
[constraints]
.
[objective]
None
```

`__getitem__(key)`

`problem.constraints[key]` と等価です。

パラメータ **key** (*string or int*) -- 参照する制約式名，または追加した制約式の番号．負数

の場合、逆順から参照されます。

### サンプル

```
>>> p = Problem()
>>> x = Variable(name='x')
>>> y = Variable(name='y')
>>> p += x >= 1
>>> p += y >= 2, '制約式 2'
>>> p
Problem(name='Problem', type=min, silent=False, subprocess=False,
↳solfile=None, iis=True):
[constraints]
(x>=1):
x>=1
制約式 2:
y>=2
.
[objective]
None
.
>>> p['(x>=1)']
(x>=1):
x>=1
>>> p['制約式 2']
制約式 2:
y>=2
>>> p[1]
制約式 2:
y>=2
>>> p[-1]
制約式 2:
y>=2
```

#### `__iadd__` (*args*)

問題に目的関数・制約式を設定します。「問題 += 変数・式 [, 目的関数名]」で目的関数を設定し、「問題 += 制約式 [, 制約式名]」で制約式を追加します。目的関数には添字が残ってはいけません。目的関数を複数設定することは通常できませんが、一旦求解することで再設定できるようになります。同名の制約式を追加することはできません。

#### 例外

- `SimpleError` -- objective can only be assigned once
- `SimpleError` -- override constraint { }

注釈: 目的関数名・制約式名を与えた場合は副作用があります。すなわち、式・制約式の `name` 属性が

変更されます。

---

### サンプル

```
>>> p = Problem(silent=True)
>>> i = Element(value=[1,2], name='i')
>>> x = Variable(index=i, name='x')
>>> p += Sum(x[i]), '総コスト'
>>> p += x[1] >= 1
>>> p += x[2] >= 2, '制約式 2'
>>> p
Problem(name='Problem', type=min, silent=True, subprocess=False, solfile=None,
  iis=True):
[constraints]
(x[1]>=1):
x[1]>=1
制約式 2:
x[2]>=2
.
[objective]
総コスト:
x[1]+x[2]
.
>>> p += Sum(x[i])
pysimple.error.SimpleError: objective can only be assigned once
>>> p += x[1] >= 1
pysimple.error.SimpleError: override constraint '(x[1]>=1)'
>>> p.solve()
1
>>> p += Sum(x[i])
```

### 参考:

*pysimple.Problem.objective, pysimple.Problem.constraints*

### property constraints

問題の制約式を表す属性です。「問題 += 制約式 [, 制約式名]」で追加されます。制約式名をキー、制約式を値とする辞書です。参照、削除には追加した順の番号も使用できます。負数の場合、逆順から参照されます。



## サンプル

```

>>> x = Variable(name='x')
>>> y = Variable(name='y')
>>> p = Problem()
>>> p += x >= 1, 'cons1'
>>> p.constraints
cons1:
x>=1
>>> p += y >= 2, 'cons2'
>>> p.constraints
cons1:
x>=1
cons2:
y>=2
>>> p.constraints['cons2']
cons2:
y>=2
>>> p.constraints[1]
cons2:
y>=2
>>> p.constraints[-1]
cons2:
y>=2
>>> del p.constraints[-1]
>>> p.constraints
cons1:
x>=1

```

## 参考:

`pysimple.Problem.__iadd__`, `pysimple.Problem.objective`, `pysimple.Problem.variables`

**hasSolution()** → bool

直前の `Problem.solve()` で解情報が設定されているかどうかを返します。解情報は本問題で使用している変数の `val` 属性から参照することができます。

戻り値 求解後に解情報が設定されている場合に真，そうでない場合に偽を返します。

戻り値の型 bool

---

注釈: `problem.status` の値が `NuoptStatus.OPTIMAL`, `NuoptStatus.FEASIBLE` の場合は `problem.hasSolution()` は必ず真を返し，設定されている解情報は実行可能な解の保証があります。一方，`problem.status` がその他の値で `problem.hasSolution()` が真の場合は，実行不可能な解が設定されています。

---

参考:

`pysimple.Problem.solve`, `pysimple.Problem.status`, `pysimple.NuoptStatus`,  
`pysimple.Variable.val`

**isFeasible()** → bool

直前の `Problem.solve()` で実行可能解が求まったかどうかを返します。

戻り値 実行可能解が求まった場合に真を返します。実行可能解が求まっていない場合は偽を返します。

戻り値の型 bool

---

注釈: `problem.status` が `NuoptStatus.OPTIMAL` または `NuoptStatus.FEASIBLE` の場合に真を返します。本メソッドの戻り値が真の場合、本問題で使用している変数の `val` 属性から参照できる解情報は実行可能です。

---

参考:

`pysimple.Problem.solve`, `pysimple.Problem.status`, `pysimple.NuoptStatus`,  
`pysimple.Variable.val`

**isInfeasible()** → bool

直前の `Problem.solve()` で実行可能解が存在しないと判断されたかどうかを返します。

戻り値 求解後の実行可能解が存在しないと判断された場合に真、そうでない場合に偽を返します。

戻り値の型 bool

---

注釈: `problem.status` が `NuoptStatus.INFEASIBLE` の場合に真を返します。本メソッドの戻り値が真(実行可能解が存在しない場合)で、かつ、`problem.hasSolution()` も真の場合は、本問題で使用している変数の `val` 属性には実行不可能な解情報が設定されています。

---

参考:

`pysimple.Problem.solve`, `pysimple.Problem.status`, `pysimple.Problem.hasSolution`,  
`pysimple.NuoptStatus`, `pysimple.Variable.val`

**mpsout** (*mpsfile=True*)

パラメータ **mpsfile** (*None or bool or string*) -- 問題情報を mps 形式でファイル出力します。

- None or False: 出力しない。

- `True`: 出力する。ファイル名は `Problem.name + '.mps'` となります。
- `string`: 出力する。ファイル名は `mpsfile + '.mps'` となります。

**注釈:** 引数で指定された名前に拡張子 `.mps` が付与されたファイル名で `mps` 形式のファイルが出力されます。ファイル名は絶対パス名、相対パス名のいずれでも指定することができます。出力される `mps` ファイルの形式は自由長形式です（固定長形式ではありません）。以下の場合に `mps` ファイルの出力に失敗します。

- ファイル名として使用できない文字 (`: * ? " < > |`) が含まれている場合
- 同名のファイルがすでに存在し、上書きの許可がない場合
- ファイルシステムに空き容量がない場合

### property name

`name` 属性です。値は文字列の代入により変更できます。

### property objective

問題の目的関数を表す属性です。「問題 += 変数・式 [, 目的関数名]」で設定されます。オブジェクト生成時の値は空の式です。通常、目的関数を複数設定することはできませんが、一旦求解することで再設定できるようになります。`del` 文で目的関数を削除できます。

### サンプル

```
>>> p = Problem(silent=True)
>>> i = Element(value=[1,2], name='i')
>>> x = Variable(index=i, lb=1, init=2, name='x')
>>> x.val
x[1].val=2
x[2].val=2
>>> p.objective
<empty>:
0
>>> p += Sum(x[i])
>>> p.objective.val
4
>>> p += x[2]
pysimple.error.SimpleError: objective can only be assigned once
>>> p.solve()
1
>>> x.val
x[1].val=1.0000000002083331
x[2].val=1.0000000002083331
>>> p.objective.val
```

(次のページに続く)

(前のページからの続き)

```
2.0000000004166663
>>> p += x[2]
>>> del p.objective
>>> p += x[1]
```

参考:

`pysimple.Problem.__iadd__`, `pysimple.Problem.constraints`, `pysimple.Problem.variables`

### property options

求解オプション定数を制御する属性です。種類と値は `help(problem.options)` か `dir(problem.options)` で、定数値は `help(Options)` か `help(Options.Branch)` で確認してください。

参考:

`pysimple.options.ProblemOptions`, `pysimple.Options`

### property result

求解後の求解情報を表す属性です。詳細は `help(problem.result)` で確認してください。

参考:

`pysimple.problem.Result`

### `solve (type=min, silent=False, subprocess=False, solfile=None, iis=True) → NuoptStatus`

求解を行います。引数の詳細は `Problem` の初期化時 `help(Problem.__init__)` で確認してください。引数は初期化時に設定した値に優先されます。省略した場合、初期化時の値が使用されます。

例外

- **RuntimeError** -- kernel of Nuorium Optimizer is terminated abnormally
- **NuoptError** -- internal error in Nuorium Optimizer
- **SimpleError** -- neither valid objective nor constraint in this model
- **SimpleError** -- no variable in this model

戻り値

**NuoptStatus** -- 求解後のステータスです。

戻り値	ステータス
NuoptStatus.OPTIMAL	最適解が求まりました
NuoptStatus.FEASIBLE	実行可能解が求まりました
NuoptStatus.INFEASIBLE	実行不可能であることが判明しました
NuoptStatus.UNBOUNDED	非有界であることが判明しました
NuoptStatus.DUAL_INFEASIBLE	双対実行不可能（実行不可能あるいは非有界）であることが判明しました
NuoptStatus.ERROR	最適化計算実行時にエラーとなりました
NuoptStatus.UNKNOWN	上記以外のステータスとなりました

戻り値の型 `int`

注釈: `NuoptStatus.OPTIMAL` の以外の場合は、`Problem.result.errorCode` から詳細なエラー番号を取得することができます。また、`Problem.result.errorMessage` に最適化のカーネルからのエラーメッセージが設定されている場合があります。

参考:

`pysimple.Problem`, `pysimple.Problem.status`, `pysimple.Problem.result`,  
`pysimple.problem.Result.errorCode`, `pysimple.problem.Result.errorMessage`,  
`pysimple.NuoptStatus`

### property status

直前の `Problem.solve()` の結果を表す属性です。

- `NuoptStatus.INITIAL` : 求解をしたことがないことを表しています。
- `NuoptStatus.OPTIMAL` : 最適解が得られたことを表しています。
- `NuoptStatus.FEASIBLE` : 実行可能解が得られたことを表しています。
- `NuoptStatus.INFEASIBLE` : 実行可能解が存在しなかったと判定されたことを表しています。
- `NuoptStatus.UNBOUNDED` : 非有界であることを表しています。
- `NuoptStatus.DUAL_INFEASIBLE` : 双対実行不可能（実行不可能あるいは非有界）であることを表しています。
- `NuoptStatus.UNKNOWN` : 上記以外のステータスであることを表しています。

参考:

`pysimple.NuoptStatus`, `pysimple.Problem.solve`

**property variables**

問題に登録した制約式，目的関数に含まれる変数の一覧を表す属性です．変数名をキー，変数を値とする辞書です．参照には追加した順の番号も使用できます．負数の場合，逆順から参照されます．辞書は制約式，目的関数の登録状況，name 属性の変更等に対して動的に追従します．

例外 `SimpleError` -- Variable name {} is duplicated

**サンプル**

```
>>> x = Variable(name='x')
>>> y = Variable(name='y')
>>> p = Problem()
>>> p += x >= 1, 'cons1'
>>> p.variables
x:
x
>>> p += y >= 1, 'cons2'
>>> p.variables
x:
x
y:
y
>>> p.variables['y']
y:
y
>>> p.variables[1]
y:
y
>>> p.variables[-1]
y:
y
>>> del p['cons2']
>>> p.variables
x:
x
```

**参考:**

`pysimple.Problem.objective`, `pysimple.Problem.constraints`

バージョン 1.1.0 で追加: `mpsout()` が追加されました．

バージョン 1.3.0 で追加: `variables()` が追加されました．

バージョン 1.3.0 で追加: `__getitem__()`, `__delitem__()` に番号でアクセスできるようになりました．

**class** `pysimple.options.ProblemOptions`

求解オプション定数を表すクラスです．

参考:

`pysimple.Problem.options, pysimple.Options`

`__dir__()`

求解オプション定数一覧を表示します。

**property branchCut**

導入される切除平面の数の目安。(分枝限定法専用) 値: [0, 1, 2]

**property branchCutoff**

足切り点。(分枝限定法専用) 値: float

**property branchDiving**

ヒューリスティクスサーチ Diving の頻度。(分枝限定法専用) 値: [0, 1, 2, 3, -1]

**property branchFeasPump**

ヒューリスティクスサーチ Feasibility Pump の頻度。(分枝限定法専用) 値: [0, 1, -1]

**property branchGapTolerance**

上下界値のギャップの閾値。絶対値で設定。(分枝限定法専用) 値: float (0 以上)

**property branchMaxNode**

探索問題数上限。(分枝限定法専用) 値: int (0 以上)

**property branchMaxSolutionCount**

整数解取得個数上限。(分枝限定法専用) 値: int (1 以上)

**property branchNodeSelect**

ノード選択。(分枝限定法専用) 値: [1, 2, -1]

**property branchParallelMethod**

並列分枝限定法の手法。(分枝限定法専用) 値: [0, 1, 2]

**property branchRelativeGapTolerance**

上下界値のギャップの閾値。相対値で設定。(分枝限定法専用) 値: float (0 以上 かつ 1 以下)

**property branchRens**

ヒューリスティックサーチ rens の導入。(分枝限定法専用) 値: [0, 1, -1]

**property branchRepairSolution**

ユーザ指定の初期解を元に解の修復をおこなう。(分枝限定法専用) 値: [False, True]

**property branchRins**

ヒューリスティックサーチ rins の導入。(分枝限定法専用) 値: [0, 1, -1]

**property branchUseWcsp**

ヒューリスティックサーチ wcsp タブサーチの導入。(分枝限定法専用) 値: [False, True]

**property branchVariableSelectScore**

分枝変数のスコアの評価方法. (分枝限定法専用) 値: [-1, 0, 1]

**property branchWcspMaxIteration**

分枝限定法から使用される wcsp タブサーチの最大反復回数. (分枝限定法専用) 値: int (1 以上)

**property branchWcspMaxTime**

分枝限定法から使用される wcsp タブサーチの最大求解時間. (分枝限定法専用) 値: int (1 以上)

**property higherCrossover**

単体法へのクロスオーバー. (高次内点法専用) 値: [False, True]

**property kktEps**

KKT 条件の残差停止条件. 値: float (0 より大きい かつ 1 以下)

**property maxIteration**

最大反復回数. (内点法, wcsp, wls) 値: int (1 以上)

**property maxMemory**

メモリ利用量上限 (MiB). 負の値の場合は, 分枝限定法は残り利用可能メモリ (MiB) による制限, wls は無制限と解釈します. (分枝限定法, wls) 値: int

**property maxTime**

計算時間上限 (秒). (分枝限定法, wcsp, wls) 値: int (0 以上)

**property method**

求解アルゴリズムの種類. 値: ['auto', 'lipm', 'higher', 'tipm', 'bfgs', 'simplex', 'dual\_simplex', 'asqp', 'lsqp', 'tsqp', 'hsimplex', 'wcsp', 'wls']

**property objectiveTarget**

分枝限定法および wls では目的関数の目標値. 目標値よりも良い解を発見した場合は計算を終了します. wcsp ではこの値を目的関数の下 (上) 限とするソフト制約と解釈します. (分枝限定法, wcsp, wls) 値: float

**property randomSeed**

乱数のシード. (wcsp 専用) 値: int (1 以上)

**property scaling**

スケーリングの種類. 値: ['off', 'minmax', 'cr', 'on']

**property simplexDualTolerance**

双対変数の実行可能性判定閾値. (単体法専用) 値: float (0 以上)

**property simplexPrimalTolerance**

主変数の実行可能性判定閾値. (単体法専用) 値: float (0 以上)

**property threads**

スレッド数. -1 の場合は自動的に設定します. 0 は 1 と解釈します. (分枝限定法, wcsp) 値: int (-1



以上)

**property tryCount**

試行回数. (wcsp, wls) 値: int (1 以上)

**property wcspInitialValueActivation**

初期値からの探索. (wcsp 専用) 値: [False, True]

**property wcspPhaseOneMaxTime**

制約充足フェーズにおける計算時間上限. (wcsp 専用) 値: int (0 以上)

**property wcspPhaseTwoMaxInterval**

解更新フェーズにおける計算時間上限. (wcsp 専用) 値: int (0 以上)

**class pysimple.Options**

ソルバのパラメータを設定するためのクラスです. デフォルト値は Nuorium Optimizer SIMPLE マニュアルの「5.5 求解オプション一覧」を参照してください.

参考:

*pysimple.Problem.options, pysimple.options.ProblemOptions*

**class Branch**

分枝限定法の求解オプション定数を表すクラスです.

**CUT\_AGGRESSIVE = 2**

**CUT\_OFF = 0**

**CUT\_ON = 1**

**DIVING\_AGGRESSIVE = 2**

**DIVING\_AUTO = -1**

**DIVING\_OFF = 0**

**DIVING\_ON = 1**

**DIVING\_SUPERAGGRESSIVE = 3**

**FEASPUMP\_AUTO = -1**

**FEASPUMP\_OFF = 0**

**FEASPUMP\_ON = 1**

**NODESELECT\_AUTO = -1**

**NODESELECT\_BESTDEPTH = 1**

**NODESELECT\_BESTESTIMATE = 2**

```
PARALLELMETHOD_DETERMINISTIC_RACING = 1

PARALLELMETHOD_RACING = 0

PARALLELMETHOD_SUBTREE = 2

RENS_AUTO = -1

RENS_OFF = 0

RENS_ON = 1

RINS_AUTO = -1

RINS_OFF = 0

RINS_ON = 1

VARIABLESELECTSCORE_AUTO = -1

VARIABLESELECTSCORE_PRODUCT = 1

VARIABLESELECTSCORE_SUM = 0
```

**class** `pysimple.NuoptStatus`

ソルバの計算後の状態値を定義しているクラスです.

参考:

`pysimple.Problem.solve`

```
DUAL_INFEASIBLE = 5
```

```
ERROR = 7
```

```
FEASIBLE = 2
```

```
INFEASIBLE = 3
```

```
INITIAL = 0
```

```
OPTIMAL = 1
```

```
UNBOUNDED = 4
```

```
UNKNOWN = 6
```

**classmethod** `status(solver_status)`

NUOPT の solver の status から PySIMPLE の solver の status に変換する

パラメータ `solver_status` (*int*) -- NUOPT が返した solver の status

例外 `NuoptError` -- 不明な solver の status

戻り値 PySIMPLE の solver の status

戻り値の型 int

**class** pysimple.problem.Result

求解後の求解情報を表すクラスです。

**property** consInfeasibility

制約式の実行不可能性。

**property** elapsedTime

計算時間。Nuorium Optimizer のカーネルが最適化計算を行っている時間です。単位は秒です。

**property** errorCode

Nuorium Optimizer のエラーコード。最適解が得られた場合は 0 が設定されています。エラーコードは Nuorium Optimizer SIMPLE マニュアルの「[A.1.1 Nuorium Optimizer のエラー/警告メッセージ](#)」を参照してください。

**property** errorMessage

エラーメッセージ。Nuorium Optimizer がエラーとなった場合に、それに対応するエラーメッセージが設定されています。

**property** factCount

行列分解の回数。アルゴリズムとして内点法を選択した時のみ意味を持ちます。

**property** fevals

制約式の評価回数。アルゴリズムとして内点法を選択した時のみ意味を持ちます。

**property** hardPenalty

ハード制約のペナルティ (重み×違反量) の合計値。

**property** iis

問題が実行不可能な場合の IIS 情報。IIS 情報がない場合は None が設定されています。

参考:

`pysimple.problem.IIS`

**property** infeasibility

実行不可能性。スケーリングを行っている場合はスケールを戻して計算した値になります。

**property** iters

反復回数。アルゴリズムとして内点法を選択した時のみ意味を持ちます。

**property** method

求解に用いられた解法。

**property** nfunc

制約式と目的関数の数。目的関数は必ず 1 であるため、「制約式の数 +1」が設定されています。

**property nvars**

変数の数.

**property optValue**

目的関数の値. 最適解の場合は最適値となります.

**property residual**

KKT 条件の充足度合い. 連続変数の最適化時のみ意味を持ちます.

**property semiHardPenalty**

セミハード制約のペナルティ (重み×違反量) の合計値.

**property softPenalty**

ソフト制約のペナルティ (重み×違反量) の合計値.

**property tolerance**

反復停止条件として実際にどの値が使われたか. アルゴリズムとして内点法を選択した時のみ意味を持ちます.

**property varInfeasibility**

変数の実行不可能性.

**class** pysimple.problem.IIS

IIS 情報を保持するクラスです. 制約式は 0 始まりのインデックスで管理されており, そのインデックスを使い各制約式情報にアクセスできます.

## サンプル

```
>>> x = Variable(name='x', lb=0)
>>> y = Variable(name='y', lb=0, ub=1)
>>> z = Variable(name='z', lb=0)
>>> p = Problem()
>>> p += x + y + z
>>> p += y + z >= 0, 'cons1'
>>> p += x + y >= 5, 'cons2'
>>> p += x + z <= 3, 'cons3'
>>> p.solve(silent=True)
3 # NuoptStatus.INFEASIBLE
>>> p.result.iis
0: cons2: violation=-1
    x+y>=5
1: cons3
    -x-z>=-3
>>> p.result.iis[0]
0: cons2: violation=1
    x+y>=5
    x: value=3: dual=0: [0, inf]
```

(次のページに続く)

(前のページからの続き)

```

        y: value=1: dual=-1: [0, 1]
>>> del p[p.result.iis[0].consname] # index=0 の制約式を delete
>>> p
Problem(name='Problem', type=min, silent=False, subprocess=False, solfile=None,
↳ iis=True):
[constraints]
cons1:
y+z>=0
cons3:
-x-z>=-3
.
[objective]
((x+y)+z):
x+y+z
>>> p.solve(silent=True)
1 # NloptStatus.OPTIMAL
>>> print(p.result.iis)
None

```

参考:

`pysimple.problem.IIS.OneIIS`

**class OneIIS** (*no, key, cons, info\_flag, variables*)

IIS 情報のうち 1 つの制約式の情報を保持するクラスです。

**property consname**

制約式名.

**property dual**

制約式の dual 値.

**property formatted**

制約式の展開された式表示.

**property key**

制約式の添字.

**property no**

制約式番号 (0 始まり).

**property variables**

制約式に含まれる変数列.

**property violation**

制約式の違反量.

### 5.1.7 シリアライズ

**class** pysimple.serialize.**Serialize**

PySIMPLE オブジェクトをシリアライズするためのクラスです。 `pickle.dump/dumps` でシリアライズ可能なオブジェクトに加え、PySIMPLE オブジェクトをシリアライズできます。

**static dump**(*obj*, *file*)

オブジェクトをバイナリにシリアライズしてファイル出力します。

パラメータ

- **obj**(*object*) -- シリアライズするオブジェクト。
- **file**(*file object*) -- 書き込むファイルオブジェクト

サンプル

```
>>> x = Variable(name='x')
>>> with open('dump.pkl', 'wb') as f:
...     Serialize.dump(x, f)
...
>>> with open('dump.pkl', 'rb') as g:
...     x_ = Serialize.load(g)
...

```

参考:

*Serialize.dumps, Serialize.load*

**static dumps**(*obj*)

オブジェクトをバイナリにシリアライズして返します。

パラメータ **obj**(*object*) -- シリアライズするオブジェクト。

戻り値 `pickle.Pickler` をラップしたバイナリを保持するオブジェクトです。

戻り値の型 `Pickler`

サンプル

```
>>> x = Variable(name='x')
>>> pkl = Serialize.dumps(x)
>>> pkl
Pickler(version_info(major=1, minor=3, micro=0))
>>> x_ = Serialize.loads(pkl)

```

参考:

*Serialize.dump, Serialize.loads*

**static load**(*file*)

シリアライズされたオブジェクトをバイナリファイルから復元します。

パラメータ **file** (*file object*) -- シリアライズしたバイナリを出力するファイルオブジェクト。

戻り値 シリアライズを復元したオブジェクト。

戻り値の型 `object`

サンプル

```
>>> x = Variable(name='x')
>>> with open('dump.pkl', 'wb') as f:
...     Serialize.dump(x, f)
...
>>> with open('dump.pkl', 'rb') as g:
...     x_ = Serialize.load(g)
...

```

参考:

*Serialize.dump, Serialize.loads*

**static loads**(*data*)

シリアライズされたオブジェクトを `pysimple.Pickler` オブジェクトから復元します。

パラメータ **data** (*Pickler*) -- シリアライズした `Pickler` オブジェクト。

戻り値 シリアライズを復元したオブジェクト。

戻り値の型 `object`

サンプル

```
>>> x = Variable(name='x')
>>> pkl = Serialize.dumps(x)
>>> pkl
Pickler(version_info(major=1, minor=3, micro=0))
>>> x_ = Serialize.loads(pkl)

```

参考:

*Serialize.dumps, Serialize.load*

## 5.2 関数

出力関数を除く関数では引数にキーワード引数を用いることはできません。

### 5.2.1 条件関数

`pysimple.Condition(elm, cond)`

条件式を表す `Cond` 型を生成する関数です。

パラメータ

- **elm** (*element-like* or tuple of them) -- `Element` の列を与えます。
- **cond** (*Cond* or tuple of them) -- 条件式の列を与えます。

---

注釈: `i!=2` や `(1<i) & (i<3)` のような簡単な場合は `Condition` 関数を用いなくても構いません。

---

サンプル

```
>>> i = Element(value=[1,2,3], name='i')
>>> Condition((i, i), i!=2)
((i,i), (i!=2))[i,i] in [(1, 1), (3, 3)]
>>> Condition(i, (1<i, i<3))
(i, ((i>1), (i<3)))[i] in [2]
>>> ij = Element(value=[(1,3), (1,4), (2,3)], name='ij')
>>> Condition(ij, ij(1)!=4)
(ij, (ij(1)!=4))[ij] in [(1, 3), (2, 3)]
```

参考:

`pysimple.condition.Cond, pysimple.condition.Cond.__and__`

### 5.2.2 出力関数

`pysimple.Printf(format_string, *args, **kws)`

書式指定文字列を標準出力に出力する関数です。Python の書式指定文字列の文法に加えて、PySIMPLE のオブジェクトに対応しています。

パラメータ

- **format\_string** (*string*) -- 書式を指定する文字列です。文法は「書式指定文字列の文法」を参照してください。



- **\*args** -- キーワードなし引数です.
- **\*\*kwargs** -- キーワードあり引数です.

#### サンプル

```
>>> i = Element(value=[1,2], name='i')
>>> a = Parameter(index=i, value={1: 10, 2: 20}, name='a')
>>> Printf('{ }[ { } ] = { }', a.name, i, a[i])
a[1] = 10
a[2] = 20
>>> Printf('{name}[ { } ] = {value}', i, name=a.name, value=a[i])
a[1] = 10
a[2] = 20
>>> x = Variable(index=i, name='x')
>>> Printf('{ } : ( { } ) { } >= { }', x[i]>=a[i], x[i], x[i].val, a[i])
x[1]>=10: (x[1]=)0 >= 10
x[2]>=20: (x[2]=)0 >= 20
```

#### 参考:

`pysimple.Fprintf`

`pysimple.Fprintf(file_like, format_string, *args, **kwargs)`

書式指定文字列をファイルに出力する関数です。Python の書式指定文字列の文法に加えて、PySIMPLE のオブジェクトに対応しています。

#### パラメータ

- **file\_like** (*file-like*) -- ファイルオブジェクト, `sys.stdout` などの出力先を指定するオブジェクトです.
- **format\_string** (*string*) -- 書式を指定する文字列です。文法は「書式指定文字列の文法」を参照してください.
- **\*args** -- キーワードなし引数です.
- **\*\*kwargs** -- キーワードあり引数です.

## サンプル

```
>>> import sys
>>> i = Element(value=[1,2], name='i')
>>> a = Parameter(index=i, value={1: 10, 2: 20}, name='a')
>>> Fprintf(sys.stdout, '{}[{}] = {}'.format(a.name, i, a[i])
a[1] = 10
a[2] = 20
>>> Fprintf(sys.stdout, '{}[{}] = {}'.format(i, a.name, a[i])
a[1] = 10
a[2] = 20
```

## 参考:

`pysimple.Printf`

### 5.2.3 数学関数

`pysimple.func.Acos(obj)`

パラメータ `obj` (*funcable-type*) --

戻り値 `obj` が *data-type* の場合は `math.acos(obj)` の結果を、それ以外の場合は `math.acos` を各要素に適用した `Parameter` を返す.

戻り値の型 `number` or *Parameter*

`pysimple.func.Acosh(obj)`

パラメータ `obj` (*funcable-type*) --

戻り値 `obj` が *data-type* の場合は `math.acosh(obj)` の結果を、それ以外の場合は `math.acosh` を各要素に適用した `Parameter` を返す.

戻り値の型 `number` or *Parameter*

`pysimple.func.Asin(obj)`

パラメータ `obj` (*funcable-type*) --

戻り値 `obj` が *data-type* の場合は `math.asin(obj)` の結果を、それ以外の場合は `math.asin` を各要素に適用した `Parameter` を返す.

戻り値の型 `number` or *Parameter*

`pysimple.func.Asinh(obj)`

パラメータ `obj` (*funcable-type*) --

戻り値 `obj` が *data-type* の場合は `math.asinh(obj)` の結果を、それ以外の場合は `math.asinh` を各要素に適用した *Parameter* を返す。

戻り値の型 `number` or *Parameter*

`pysimple.func.Atan(obj)`

パラメータ `obj` (*funcable-type*) --

戻り値 `obj` が *data-type* の場合は `math.atan(obj)` の結果を、それ以外の場合は `math.atan` を各要素に適用した *Parameter* を返す。

戻り値の型 `number` or *Parameter*

`pysimple.func.Atan2(obj1, obj2)`

パラメータ

- `obj1` (*funcable-type*) --
- `obj2` (*funcable-type*) --

戻り値 `obj1, obj2` が *data-type* の場合は `math.atan2(obj1, obj2)` の結果を、それ以外の場合は `math.atan2` を各要素に適用した *Parameter* を返す。

戻り値の型 `number` or *Parameter*

`pysimple.func.Atanh(obj)`

パラメータ `obj` (*funcable-type*) --

戻り値 `obj` が *data-type* の場合は `math.atanh(obj)` の結果を、それ以外の場合は `math.atanh` を各要素に適用した *Parameter* を返す。

戻り値の型 `number` or *Parameter*

`pysimple.func.Ceil()`

`__ceil__(obj)`

パラメータ `obj` (*funcable-type*) --

戻り値 `obj` が *data-type* の場合は `math.ceil(obj)` の結果を、それ以外の場合は `math.ceil` を各要素に適用した *Parameter* を返す。

戻り値の型 `number` or *Parameter*

`pysimple.func.Cos(obj)`

パラメータ `obj` (*funcable-type*) --

戻り値 `obj` が *data-type* の場合は `math.cos(obj)` の結果を、それ以外の場合は `math.cos` を各要素に適用した *Parameter* を返す。

戻り値の型    number or *Parameter*

`pysimple.func.Cosh(obj)`

パラメータ    **obj** (*funcable-type*) --

戻り値    `obj` が *data-type* の場合は `math.cosh(obj)` の結果を、それ以外の場合は `math.cosh` を各要素に適用した *Parameter* を返す。

戻り値の型    number or *Parameter*

`pysimple.func.Erf(obj)`

パラメータ    **obj** (*funcable-type*) --

戻り値    `obj` が *data-type* の場合は `math.erf(obj)` の結果を、それ以外の場合は `math.erf` を各要素に適用した *Parameter* を返す。

戻り値の型    number or *Parameter*

`pysimple.func.Exp(obj)`

パラメータ    **obj** (*funcable-type*) --

戻り値    `obj` が *data-type* の場合は `math.exp(obj)` の結果を、それ以外の場合は `math.exp` を各要素に適用した *Parameter* を返す。

戻り値の型    number or *Parameter*

`pysimple.func.Fabs()`

`__abs__(obj)`

パラメータ    **obj** (*funcable-type*) --

戻り値    `obj` が *data-type* の場合は `math.fabs(obj)` の結果を、それ以外の場合は `math.fabs` を各要素に適用した *Parameter* を返す。

戻り値の型    number or *Parameter*

`pysimple.func.Floor()`

`__floor__(obj)`

パラメータ    **obj** (*funcable-type*) --

戻り値    `obj` が *data-type* の場合は `math.floor(obj)` の結果を、それ以外の場合は `math.floor` を各要素に適用した *Parameter* を返す。

戻り値の型    number or *Parameter*

`pysimple.func.Fmod(x, y)`

`pysimple.func.Hypot(obj1, obj2)`

パラメータ

- **obj1** (*funcable-type*) --
- **obj2** (*funcable-type*) --

戻り値 **obj1**, **obj2** が *data-type* の場合は `math.hypot(obj1, obj2)` の結果を, それ以外の場合は `math.hypot` を各要素に適用した *Parameter* を返す.

戻り値の型 `number` or *Parameter*

`pysimple.func.Log(obj)`

パラメータ **obj** (*funcable-type*) --

戻り値 **obj** が *data-type* の場合は `math.log(obj)` の結果を, それ以外の場合は `math.log` を各要素に適用した *Parameter* を返す.

戻り値の型 `number` or *Parameter*

`pysimple.func.Log10(obj)`

パラメータ **obj** (*funcable-type*) --

戻り値 **obj** が *data-type* の場合は `math.log10(obj)` の結果を, それ以外の場合は `math.log10` を各要素に適用した *Parameter* を返す.

戻り値の型 `number` or *Parameter*

`pysimple.func.Max(obj, idx=None)`

**obj** の範囲 **idx** 上での最大値を計算したオブジェクトを返します.

パラメータ

- **obj** (*funcable-type*) -- 最大値を計算する対象のオブジェクトです.
- **idx** (`None` or *element-like* or tuple of them) -- 最大値を計算する範囲です. 省略された場合, **obj** のすべての範囲についての最大値を計算します. 同じ *Element* を複数回含めることはできません.

戻り値 添字が残る場合は *Parameter* を, 残らない場合は *data-type* を返します.

戻り値の型 *data-type* or *Parameter*

例外

- **ValueError** -- duplicate Element in range of {}
- **ValueError** -- Max arg is an empty index

注釈: obj や idx の添字範囲が空集合の場合は ValueError を投げます. idx が空タプルの場合は obj と等価なオブジェクトを返します.

### サンプル

```
>>> I = Set(value=[1,2]); i = Element(set=I, name='i')
>>> J = Set(value='XY'); j = Element(set=J, name='j')
>>> a = Parameter(index=(i,j), value={(ii, jj): ii*10+J.index(jj) for ii, jj in
↳ I*J}, name='a')
>>> a
a[1, 'X']=10
a[1, 'Y']=11
a[2, 'X']=20
a[2, 'Y']=21
>>> Max(a[i,j], i)
Max(a[i,j], i)['X']=20
Max(a[i,j], i)['Y']=21
>>> Max(a[i,j], j)
Max(a[i,j], j)[1]=11
Max(a[i,j], j)[2]=21
>>> Max(a[i,j], (i,j))
21
>>> Max(a[i,j])
21
```

### 参考:

*Min, MaxOf*

`pysimple.func.MaxOf(*args)`

オブジェクトの各最大値を返します. 例えば変数の下限を一度に設定するときに便利です.

パラメータ **\*args** (*funcable-type*) -- オブジェクトの列. 1 つ以上必要です.

例外 **ValueError** -- `max()` arg is an empty sequence

### サンプル

```
>>> i = Element(value=[1,2,3], name='i')
>>> a = Parameter(index=i, value={1: 2, 2: 3, 3: 1}, name='a')
>>> b = Parameter(index=i, value={1: 3, 2: 1, 3: 2}, name='b')
>>> Printf('i={i}, a={a}, b={b}', i=i, a=a[i], b=b[i])
i=1, a=2, b=3
i=2, a=3, b=1
```

(次のページに続く)

(前のページからの続き)

```

i=3, a=1, b=2
>>> MaxOf(i, a[i], b[i])
MaxOf(i, a[i], b[i])[1]=3
MaxOf(i, a[i], b[i])[2]=3
MaxOf(i, a[i], b[i])[3]=3
>>> x = Variable(index=i, name='x')
>>> x[i] >= MaxOf(i, a[i], b[i])
(x[i]>=MaxOf(i, a[i], b[i])[i]):
x[1]>=3
x[2]>=3
x[3]>=3

```

**参考:***Max, MinOf*`pysimple.func.Min(obj, idx=None)``obj` の範囲 `idx` 上での最小値を計算したオブジェクトを返します。

パラメータ

- **obj** (*funcable-type*) -- 最小値を計算する対象のオブジェクトです。
- **idx** (None or *element-like* or tuple of them) -- 最小値を計算する範囲です。省略された場合、`obj` のすべての範囲についての最小値を計算します。同じ `Element` を複数回含めることはできません。

戻り値 添字が残る場合は `Parameter` を、残らない場合は *data-type* を返します。戻り値の型 *data-type* or `Parameter`

例外

- **ValueError** -- duplicate Element in range of {}
- **ValueError** -- Min arg is an empty index

---

注釈: `obj` や `idx` の添字範囲が空集合の場合は `ValueError` を投げます。 `idx` が空タプルの場合は `obj` と等価なオブジェクトを返します。

---

## サンプル

```
>>> I = Set(value=[1,2]); i = Element(set=I, name='i')
>>> J = Set(value='XY'); j = Element(set=J, name='j')
>>> a = Parameter(index=(i,j), value={(ii, jj): ii*10+J.index(jj) for ii, jj in
↳ I*J}, name='a')
>>> a
a[1,'X']=10
a[1,'Y']=11
a[2,'X']=20
a[2,'Y']=21
>>> Min(a[i,j], i)
Min(a[i,j], i)['X']=10
Min(a[i,j], i)['Y']=11
>>> Min(a[i,j], j)
Min(a[i,j], j)[1]=10
Min(a[i,j], j)[2]=20
>>> Min(a[i,j], (i,j))
10
>>> Min(a[i,j])
10
```

## 参考:

*Max, MinOf*`pysimple.func.MinOf(*args)`

オブジェクトの各最小値を返します。例えば変数の上限を一度に設定するときに便利です。

パラメータ **\*args** (*funcable-type*) -- オブジェクトの列。1 つ以上必要です。

例外 **ValueError** -- min() arg is an empty sequence

## サンプル

```
>>> i = Element(value=[1,2,3], name='i')
>>> a = Parameter(index=i, value={1: 2, 2: 3, 3: 1}, name='a')
>>> b = Parameter(index=i, value={1: 3, 2: 1, 3: 2}, name='b')
>>> Printf('i={i}, a={a}, b={b}', i=i, a=a[i], b=b[i])
i=1, a=2, b=3
i=2, a=3, b=1
i=3, a=1, b=2
>>> MinOf(i, a[i], b[i])
MinOf(i, a[i], b[i])[1]=1
MinOf(i, a[i], b[i])[2]=1
MinOf(i, a[i], b[i])[3]=1
>>> x = Variable(index=i, name='x')
>>> x[i] <= MinOf(i, a[i], b[i])
```

(次のページに続く)



(前のページからの続き)

```
(x[i]<=MinOf(i, a[i], b[i])[i]):
-x[1]>=-1
-x[2]>=-1
-x[3]>=-1
```

**参考:***Min, MaxOf*`pysimple.func.Prod(obj, idx=None)``obj` の範囲 `idx` 上での積を計算したオブジェクトを返します。

パラメータ

- **obj** (*funcable-type*) -- 積を計算する対象のオブジェクトです。
- **idx** (None or *element-like* or tuple of them) -- 積を計算する範囲です。省略された場合, `obj` のすべての範囲についての積を計算します。同じ `Element` を複数回含めることはできません。

戻り値 添字が残る場合は `Parameter` を, 残らない場合は *data-type* を返します。戻り値の型 *data-type* or `Parameter`例外 **ValueError** -- duplicate Element in range of {}

注釈: `obj` や `idx` の添字範囲が空集合の場合は 1 を返します。 `idx` が空タプルの場合は `obj` と等価なオブジェクトを返します。

## サンプル

```
>>> I = Set(value=[1,2]); i = Element(set=I, name='i')
>>> J = Set(value='XY'); j = Element(set=J, name='j')
>>> a = Parameter(index=(i,j), value={(ii, jj): ii*10+J.index(jj) for ii, jj in
↳ I*J}, name='a')
>>> a
a[1, 'X']=10
a[1, 'Y']=11
a[2, 'X']=20
a[2, 'Y']=21
>>> Prod(a[i,j], i)
Prod(a[i,j], i) ['X']=200
Prod(a[i,j], i) ['Y']=231
>>> Prod(a[i,j], j)
```

(次のページに続く)

(前のページからの続き)

```
Prod(a[i,j], j)[1]=110
Prod(a[i,j], j)[2]=420
>>> Prod(a[i,j], (i,j))
46200
>>> Prod(a[i,j])
46200
```

参考:

*Sum, Min, Max*

`pysimple.func.Sin(obj)`

パラメータ **obj** (*funcable-type*) --

戻り値 `obj` が *data-type* の場合は `math.sin(obj)` の結果を, それ以外の場合は `math.sin` を各要素に適用した *Parameter* を返す.

戻り値の型 `number` or *Parameter*

`pysimple.func.Sinh(obj)`

パラメータ **obj** (*funcable-type*) --

戻り値 `obj` が *data-type* の場合は `math.sinh(obj)` の結果を, それ以外の場合は `math.sinh` を各要素に適用した *Parameter* を返す.

戻り値の型 `number` or *Parameter*

`pysimple.func.Sqrt(obj)`

パラメータ **obj** (*funcable-type*) --

戻り値 `obj` が *data-type* の場合は `math.sqrt(obj)` の結果を, それ以外の場合は `math.sqrt` を各要素に適用した *Parameter* を返す.

戻り値の型 `number` or *Parameter*

`pysimple.func.Sum(obj, idx=None)`

`obj` の範囲 `idx` 上での和を計算したオブジェクトを返します.

パラメータ

- **obj** (*operable-type*) -- 和を計算する対象のオブジェクトです.
- **idx** (`None` or *element-like* or tuple of them) -- 和を計算する範囲です. 省略された場合, `obj` のすべての範囲についての和を計算します. 同じ *Element* を複数回含めることはできません.

戻り値 `obj` が `Variable`, `Expression` の場合は `Expression` を, それ以外で添字が残る場合は `Parameter` を, 残らない場合は `data-type` を返します.

戻り値の型 `data-type` or `Parameter` or `Expression`

例外 **ValueError** -- duplicate Element in range of {}

---

注釈: `obj` や `idx` の添字範囲が空集合の場合は 0 を返します. `idx` が空タプルの場合は `obj` と等価なオブジェクトを返します.

---

### サンプル

```
>>> I = Set(value=[1,2]); i = Element(set=I, name='i')
>>> J = Set(value='XY'); j = Element(set=J, name='j')
>>> a = Parameter(index=(i,j), value={(ii, jj): ii*10+J.index(jj) for ii, jj in
↳ I*J}, name='a')
>>> a
a[1, 'X']=10
a[1, 'Y']=11
a[2, 'X']=20
a[2, 'Y']=21
>>> Sum(a[i,j], i)
Sum(a[i,j], i) ['X']=30
Sum(a[i,j], i) ['Y']=32
>>> Sum(a[i,j], j)
Sum(a[i,j], j) [1]=21
Sum(a[i,j], j) [2]=41
>>> Sum(a[i,j], (i,j))
62
>>> Sum(a[i,j])
62
>>> x = Variable(index=(i,j), name='x')
>>> Sum(x[i,j], i)
Sum(x[i,j], i):
x[1, 'X']+x[2, 'X']
x[1, 'Y']+x[2, 'Y']
>>> Sum(x[i,j], j)
Sum(x[i,j], j):
x[1, 'X']+x[1, 'Y']
x[2, 'X']+x[2, 'Y']
>>> Sum(x[i,j], (i,j))
Sum(x[i,j], (i,j)):
x[1, 'X']+x[1, 'Y']+x[2, 'X']+x[2, 'Y']
```

参考:

*Selection, Prod, Min, Max*

`pysimple.func.Tan(obj)`

パラメータ **obj** (*funcable-type*) --

戻り値 **obj** が *data-type* の場合は `math.tan(obj)` の結果を、それ以外の場合は `math.tan` を各要素に適用した *Parameter* を返す。

戻り値の型 `number` or *Parameter*

`pysimple.func.Tanh(obj)`

パラメータ **obj** (*funcable-type*) --

戻り値 **obj** が *data-type* の場合は `math.tanh(obj)` の結果を、それ以外の場合は `math.tanh` を各要素に適用した *Parameter* を返す。

戻り値の型 `number` or *Parameter*

## 5.2.4 選択関数

`pysimple.func.Selection(obj, idx=None)`

添字つき 0-1 整数変数の中で一つだけを 1 に固定したい場合に用います。wcsp を解法とする場合、内部的には複数の 0-1 整数変数を用意する替わりに一つの離散変数を用意するため、内部処理が高速化されます。それ以外では Sum を用いた書き換えと等価です。

パラメータ

- **obj** (*BinaryVariable*) -- 計算する対象の 0-1 整数変数です。添字づけられている必要があります。
- **idx** (`None` or *element-like* or tuple of them) -- 計算する範囲です。省略された場合、obj のすべての範囲を対象とします。同じ *Element* を複数回含めることはできません。

戻り値

戻り値の型 *SelectionConstraint*

例外

- **ValueError** -- duplicate Element in range of { }
- **ValueError** -- the argument of Selection should be indexed variable
- **ValueError** -- Selection arg is an empty index

## サンプル

```

>>> i = Element(value=[1, 2], name='i')
>>> j = Element(value=[3, 4], name='j')
>>> z = BinaryVariable(index=(i, j), name='z')
>>> Selection(z[i, j], i)
Selection(z[i, j], i):
z[1, 3]+z[2, 3]==1
z[1, 4]+z[2, 4]==1
>>> Selection(z[i, j], j)
Selection(z[i, j], j):
z[1, 3]+z[1, 4]==1
z[2, 3]+z[2, 4]==1
>>> Selection(z[i, j], (i, j))
Selection(z[i, j], (i, j)):
z[1, 3]+z[1, 4]+z[2, 3]+z[2, 4]==1

```

## 参考:

*Sum*

## 5.2.5 制約関数

`pysimple.constraint.HardConstraint()`

制約式がハード制約であることを表します。

戻り値

戻り値の型 *ConstraintWeight*`pysimple.constraint.SemiHardConstraint()`

制約式がセミハード制約であることを表します。

戻り値

戻り値の型 *ConstraintWeight*`pysimple.constraint.SoftConstraint(weight, quad=None, linear=None)`

制約式がソフト制約であることを表します。

パラメータ

- **weight** (*non-negative int or -1 or -2*) -- 重みの基本となるパラメータです。
- **quad** (*non-negative float*) -- 重みの二次の係数です。
- **linear** (*non-negative float*) -- 重みの一次の係数です。

戻り値

戻り値の型 *ConstraintWeight*

## 5.3 例外

**exception** `pysimple.SimpleError(msg)`

ベースクラス: `Exception`

数理計画モデリング特有の例外を表すクラスです。

参考:

*pysimple.NuoptError*

サンプル

```
>>> ij = Element(value=[(1,3), (1,4), (2,3)], name='ij')
>>> ij + 1
pysimple.error.SimpleError: dim of 'Element' must be 1
>>> i = Element(value=[1,2], name='i')
>>> x = Variable(index=i, name='x')
>>> x + 1
pysimple.error.SimpleError: Variable 'x' needs to be with index (no index given)
>>> Sum(x[i], i) + i
pysimple.error.SimpleError: illegal use of Element 'i' which has been operated_
↪already
>>> Condition(ij, i>1)
pysimple.error.SimpleError: illegal use of Element 'i'
>>> p = Problem()
>>> p += x[i]
pysimple.error.SimpleError: objective cannot be defined with index
>>> p += Sum(x[i])
>>> p += Sum(x[i])
pysimple.error.SimpleError: objective can only be assigned once
>>> p += x[i] >= 1
>>> p += x[i] >= 1
pysimple.error.SimpleError: override constraint '(x[i]>=1)'
```

**exception** `pysimple.NuoptError(msg)`

ベースクラス: `Exception`

Nuorium Optimizer の内部で発生した例外を表すクラスです。

参考:

*pysimple.SimpleError*

## 5.4 演算

### 5.4.1 単項演算

`pysimple.__pos__(obj) → +obj`

単項演算 `+obj` を返します。

戻り値 `obj` が *funcable-type* の場合は `Parameter` を、それ以外の場合は `Expression` を返します。

戻り値の型 *Parameter* or *Expression*

`pysimple.__neg__(obj1) → -obj1`

単項演算 `-obj1` を返します。

戻り値 `obj` が *funcable-type* の場合は `Parameter` を、それ以外の場合は `Expression` を返します。

戻り値の型 *Parameter* or *Expression*

### 5.4.2 算術演算

`Set.__sub__(rset) → Set - rset`

`Set` に含まれて `rset` に含まれない集合を返します。

パラメータ **rset** (*iterable*) -- `Set` や `set` でなくても構いません。

戻り値

戻り値の型 *Set*

サンプル

```
>>> I = Set(value=[1,2,3,4], name='I')
>>> J = Set(value=[2,4,6,8], name='J')
>>> I - J
Set(name='(I-J)', value=[1, 3])
>>> I - {2,4,6,8}
Set(name='(I-{8, 2, 4, 6})', value=[1, 3])
>>> I - [2,4,6,8]
Set(name='(I-[2, 4, 6, 8])', value=[1, 3])
```

`Set.__mul__(rset) → Set * rset`

`Set` と `rset` の直積集合を返します。

パラメータ **rset** (*iterable*) -- `Set` や `set` でなくても構いません。

戻り値

戻り値の型 *Set*

#### サンプル

```
>>> I = Set(value=[1,2], name='I')
>>> I * I
Set(name='(I*I)', dim=2, value=[(1, 1), (1, 2), (2, 1), (2, 2)])
>>> I * {3,4}
Set(name='(I*{3, 4})', dim=2, value=[(1, 3), (1, 4), (2, 3), (2, 4)])
>>> I * [3,4]
Set(name='(I*[3, 4])', dim=2, value=[(1, 3), (1, 4), (2, 3), (2, 4)])
>>> I * I * I
Set(name='((I*I)*I)', dim=3, value=[(1, 1, 1), (1, 1, 2), (1, 2, 1), (1, 2, 2),
↪ (2, 1, 1), (2, 1, 2), (2, 2, 1), (2, 2, 2)])
```

Set. **\_\_rsub\_\_** (*lset*) → *lset* - Set

*lset* に含まれて Set に含まれない集合を返します。

パラメータ **rset** (*iterable*) -- Set や set でなくても構いません。

戻り値

戻り値の型 *Set*

#### サンプル

```
>>> I = Set(value=[1,2,3,4], name='I')
>>> {2,4,6,8} - I
Set(name='({8, 2, 4, 6}-I)', value=[8, 6])
>>> [2,4,6,8] - I
Set(name='([2, 4, 6, 8]-I)', value=[6, 8])
```

Set. **\_\_rmul\_\_** (*lset*) → *lset* \* Set

*lset* と Set の直積集合を返します。

パラメータ **rset** (*iterable*) -- Set や set でなくても構いません。

戻り値

戻り値の型 *Set*



## サンプル

```

>>> I = Set(value=[1,2], name='I')
>>> {3,4} * I
Set(name='({3, 4}*I)', dim=2, value=[(3, 1), (3, 2), (4, 1), (4, 2)])
>>> [3,4] * I
Set(name='([3, 4]*I)', dim=2, value=[(3, 1), (3, 2), (4, 1), (4, 2)])

```

`pysimple.__add__(obj1, obj2) → obj1 + obj2`

二項演算 `obj1+obj2` を返します.

## パラメータ

- `obj1 (operable-type) --`
- `obj2 (operable-type) --`

戻り値 `obj1` または `obj2` が `Variable`, `Expression` の場合は `Expression` を, それ以外の場合は `Parameter` を返します.

戻り値の型 *Parameter or Expression*

`pysimple.__sub__(obj1, obj2) → obj1 - obj2`

二項演算 `obj1-obj2` を返します.

## パラメータ

- `obj1 (operable-type) --`
- `obj2 (operable-type) --`

戻り値 `obj1` または `obj2` が `Variable`, `Expression` の場合は `Expression` を, それ以外の場合は `Parameter` を返します.

戻り値の型 *Parameter or Expression*

`pysimple.__mul__(obj1, obj2) → obj1 * obj2`

二項演算 `obj1*obj2` を返します.

## パラメータ

- `obj1 (operable-type) --`
- `obj2 (operable-type) --`

戻り値 `obj1` または `obj2` が `Variable`, `Expression` の場合は `Expression` を, それ以外の場合は `Parameter` を返します. 演算結果が線形または二次でない場合, `TypeError` が投げられます.

戻り値の型 *Parameter or Expression*

例外 **TypeError** -- high dimension operand type(s) for \*: {} and {}

`pysimple.__mod__(obj1, obj2) → obj1 % obj2`

二項演算 `obj1%obj2` を返します。

パラメータ

- `obj1` (*funcable-type*) --
- `obj2` (*funcable-type*) --

戻り値 演算結果が線形または二次でない場合、`TypeError` が投げられます。

戻り値の型 *Parameter*

例外 **`TypeError`** -- high dimension operand type(s) for `%`: {} and {}

`pysimple.__truediv__(obj1, obj2) → obj1 / obj2`

二項演算 `obj1/obj2` を返します。

パラメータ

- `obj1` (*operable-type*) --
- `obj2` (*funcable-type*) --

戻り値 `obj1` が `Variable`, `Expression` の場合は `Expression` を、それ以外の場合は `Parameter` を返します。  
演算結果が線形または二次でない場合、`TypeError` が投げられます。

戻り値の型 *Parameter* or *Expression*

例外 **`TypeError`** -- high dimension operand type(s) for `/`: {} and {}

`pysimple.__floordiv__(obj1, obj2) → obj1 // obj2`

二項演算 `obj1//obj2` を返します。

パラメータ

- `obj1` (*funcable-type*) --
- `obj2` (*funcable-type*) --

戻り値 演算結果が線形または二次でない場合、`TypeError` が投げられます。

戻り値の型 *Parameter*

例外 **`TypeError`** -- high dimension operand type(s) for `//`: {} and {}

`pysimple.__pow__(obj1, obj2) → obj1 ** obj2`

二項演算 `obj1**obj2` を返します。

パラメータ

- `obj1` (*funcable-type*) --

- **obj2** (*funcable-type*) --

戻り値 演算結果が線形または二次でない場合、`TypeError` が投げられます。

戻り値の型 *Parameter*

例外 **TypeError** -- high dimension operand type(s) for \*\*: {} and {}

```
pysimple.__radd__(obj1, obj2)
```

```
pysimple.__rsub__(obj1, obj2)
```

```
pysimple.__rmul__(obj1, obj2)
```

```
pysimple.__rmod__(obj1, obj2)
```

```
pysimple.__rdiv__(obj1, obj2)
```

```
pysimple.__rtruediv__(obj1, obj2)
```

```
pysimple.__rfloordiv__(obj1, obj2)
```

```
pysimple.__rpow__(obj1, obj2)
```

同様に定義されています。

### 5.4.3 比較演算

```
pysimple.__lt__(obj1, obj2) → obj1 < obj2
```

比較演算 `obj1 < obj2` を返します。 `obj1, obj2` が共に *mutableset* の場合は集合の包含関係を、 `obj1, obj2` が共に *funcable-type* の場合は不等式を満たす要素からなる条件文を、それ以外で *funcable-type* と *iterable* の比較は以下のような条件文を返します。

`funcable-type < iterable` の場合、 `set(funcable-type) & set(iterable)`, `iterable < funcable-type` の場合、 `set(funcable-type) - set(iterable)` からなる条件文を返します。

パラメータ

- **obj1** (*iterable* or *funcable-type*) --
- **obj2** (*iterable* or *funcable-type*) --

戻り値 `obj1, obj2` が共に *mutableset* の場合は `bool`, それ以外の場合は `Cond` を返します。ただし、両辺とも添字を含まない場合は `bool` を返します。

戻り値の型 `bool` or *Cond*

## サンプル

```
>>> I = Set(value=[1,2,3,4], name='I')
>>> II = Set(value=[1,2,3,4,5], name='II')
>>> I < I
False
>>> I < II
True
>>> I < {1,2,3,4}
False
>>> i = Element(set=I, name='i')
>>> i < 3
(i<3)[i] in [1, 2]
>>> a = Parameter(index=i, name='a')
>>> a[i] = 4 - i
>>> a
a[1]=3
a[2]=2
a[3]=1
a[4]=0
>>> i < a[i]
(i<a[i])[i] in [1]
>>> J = Set(value=[2,4,6,8], name='J')
>>> i < J # i.set & J
(i<J)[i] in [2, 4]
>>> J < i # i.set - J
(J<i)[i] in [1, 3]
>>> i < {2,4,6,8}
(i<{8, 2, 4, 6})[i] in [2, 4]
>>> i < [2,4,6,8]
(i<[2, 4, 6, 8])[i] in [2, 4]
```

`pysimple.__gt__(obj1, obj2) → obj1 > obj2`

比較演算 `obj1 > obj2` を返します。 `obj1, obj2` が共に `mutableset` の場合は集合の包含関係を、 `obj1, obj2` が共に `funcable-type` の場合は不等式を満たす要素からなる条件文を、それ以外で `funcable-type` と `iterable` の比較は以下のような条件文を返します。

`funcable-type > iterable` の場合、 `set(funcable-type) - set(iterable)`, `iterable > funcable-type` の場合、 `set(funcable-type) & set(iterable)` からなる条件文を返します。

## パラメータ

- `obj1` (`iterable` or `funcable-type`) --
- `obj2` (`iterable` or `funcable-type`) --

戻り値 `obj1, obj2` が共に `mutableset` の場合は `bool`, それ以外の場合は `Cond` を返します。ただし、両辺とも添字を含まない場合は `bool` を返します。

戻り値の型 bool or *Cond*

#### サンプル

```
>>> I = Set(value=[1,2,3,4], name='I')
>>> II = Set(value=[1,2,3], name='II')
>>> I > I
False
>>> I > II
True
>>> I > {1,2,3,4}
False
>>> i = Element(set=I, name='i')
>>> i > 3
(i>3)[i] in [4]
>>> a = Parameter(index=i, name='a')
>>> a[i] = 4 - i
>>> a
a[1]=3
a[2]=2
a[3]=1
a[4]=0
>>> i > a[i]
(i>a[i])[i] in [3, 4]
>>> J = Set(value=[2,4,6,8], name='J')
>>> J > i # i.set & J
(J>i)[i] in [2, 4]
>>> i > J # i.set - J
(i>J)[i] in [1, 3]
>>> i > {2,4,6,8}
(i>{8, 2, 4, 6})[i] in [1, 3]
>>> i > [2,4,6,8]
(i>[2, 4, 6, 8])[i] in [1, 3]
```

`pysimple.__le__(obj1, obj2) → obj1 <= obj2`

比較演算 `obj1<=obj2` を返します。 `obj1, obj2` が共に *mutableset* の場合は集合の包含関係を、 `obj1, obj2` が共に *funcable-type* の場合は不等式を満たす要素からなる条件文を、 `obj1, obj2` に `Variable, Expression` を含む場合は制約式を返します。

#### パラメータ

- **obj1** (*iterable* or *operable-type*) --
- **obj2** (*iterable* or *operable-type*) --

戻り値 `obj1, obj2` が共に *mutableset* の場合は `bool`, `obj1, obj2` が共に *funcable-type* の場合は `Cond` を、 `obj1, obj2` に `Variable, Expression` を含む場合は `Expression` を返します。ただし、 `obj1, obj2` が共に *funcable-type* でいずれも添字含まない場合は `bool` を返します。

戻り値の型 bool or *Cond* or *Constraint*

#### サンプル

```
>>> I = Set(value=[1,2,3,4], name='I')
>>> II = Set(value=[1,2,3], name='II')
>>> I <= I
True
>>> I <= II
False
>>> I <= {1,2,3,4}
True
>>> i = Element(set=I, name='i')
>>> i <= 3
(i<=3)[i] in [1, 2, 3]
>>> a = Parameter(index=i, name='a')
>>> a[i] = 4 - i
>>> a
a[1]=3
a[2]=2
a[3]=1
a[4]=0
>>> i <= a[i]
(i<=a[i])[i] in [1, 2]
>>> x = Variable(index=i, name='x')
>>> a[i] <= x[i]
(a[i]<=x[i]):
x[1]>=3
x[2]>=2
x[3]>=1
x[4]>=0
```

`pysimple.__ge__(obj1, obj2) → obj1 >= obj2`

比較演算 `obj1>=obj2` を返します. `obj1, obj2` が共に *mutableset* の場合は集合の包含関係を, `obj1, obj2` が共に *funcable-type* の場合は不等式を満たす要素からなる条件文を, `obj1, obj2` に `Variable, Expression` を含む場合は制約式を返します.

#### パラメータ

- **obj1** (*iterable* or *operable-type*) --
- **obj2** (*iterable* or *operable-type*) --

戻り値 `obj1, obj2` が共に *mutableset* の場合は `bool`, `obj1, obj2` が共に *funcable-type* の場合は `Cond` を, `obj1, obj2` に `Variable, Expression` を含む場合は `Expression` を返します. ただし, `obj1, obj2` が共に *funcable-type* でいずれも添字含まない場合は `bool` を返します.

戻り値の型 bool or *Cond* or *Constraint*

## サンプル

```

>>> I = Set(value=[1,2,3,4], name='I')
>>> II = Set(value=[1,2,3,4,5], name='II')
>>> I >= I
True
>>> I >= II
False
>>> I >= {1,2,3,4}
True
>>> i = Element(set=I, name='i')
>>> i >= 3
(i>=3)[i] in [3, 4]
>>> a = Parameter(index=i, name='a')
>>> a[i] = 4 - i
>>> a
a[1]=3
a[2]=2
a[3]=1
a[4]=0
>>> i >= a[i]
(i>=a[i])[i] in [2, 3, 4]
>>> x = Variable(index=i, name='x')
>>> a[i] >= x[i]
(a[i]>=x[i]):
-x[1]>=-3
-x[2]>=-2
-x[3]>=-1
-x[4]>=0

```

`pysimple.__eq__(obj1, obj2) → obj1 == obj2`

比較演算 `obj1==obj2` を返します。 `obj1, obj2` が共に `mutableset` の場合は集合の包含関係を、 `obj1, obj2` が共に `funcable-type` の場合は等式を満たす要素からなる条件文を、 `obj1, obj2` に `Variable, Expression` を含む場合は制約式を返します。

## パラメータ

- **obj1** (*iterable* or *operable-type*) --
- **obj2** (*iterable* or *operable-type*) --

戻り値 `obj1, obj2` が共に `mutableset` の場合は `bool`, `obj1, obj2` が共に `funcable-type` の場合は `Cond` を、 `obj1, obj2` に `Variable, Expression` を含む場合は `Expression` を返します。ただし、 `obj1, obj2` が共に `funcable-type` でいずれも添字含まない場合は `bool` を返します。

戻り値の型 `bool` or `Cond` or `Constraint`

## サンプル

```
>>> I = Set(value=[1,2,3,4], name='I')
>>> II = Set(value=[1,2,3], name='II')
>>> I == I
True
>>> I == II
False
>>> I == {1,2,3,4}
True
>>> i = Element(set=I, name='i')
>>> i == 3
(i==3)[i] in [3]
>>> a = Parameter(index=i, name='a')
>>> a[i] = 4 - i
>>> a
a[1]=3
a[2]=2
a[3]=1
a[4]=0
>>> i == a[i]
(i==a[i])[i] in [2]
>>> x = Variable(index=i, name='x')
>>> a[i] == x[i]
(a[i]==x[i]):
-x[1]==-3
-x[2]==-2
-x[3]==-1
-x[4]==0
```

`pysimple.__ne__(obj1, obj2) → obj1 != obj2`

比較演算 `obj1!=obj2` を返します。 `obj1, obj2` が共に `mutableset` の場合は集合の包含関係を、 `obj1, obj2` が共に `funcable-type` の場合は不等式を満たす要素からなる条件文を返します。

## パラメータ

- `obj1` (`mutableset` or `funcable-type`) --
- `obj2` (`mutableset` or `funcable-type`) --

戻り値 `obj1, obj2` が共に `mutableset` の場合は `bool`, `obj1, obj2` が共に `funcable-type` の場合は `Cond` を返します。ただし、両辺とも添字を含まない場合は `bool` を返します。

戻り値の型 `bool` or `Cond`



## サンプル

```

>>> I = Set(value=[1,2,3,4], name='I')
>>> II = Set(value=[1,2,3], name='II')
>>> I != I
False
>>> I != II
True
>>> I != {1,2,3,4}
False
>>> i = Element(set=I, name='i')
>>> i != 3
(i!=3)[i] in [1, 2, 4]
>>> a = Parameter(index=i, name='a')
>>> a[i] = 4 - i
>>> a
a[1]=3
a[2]=2
a[3]=1
a[4]=0
>>> i != a[i]
(i!=a[i])[i] in [1, 3, 4]

```

## 5.4.4 ビット演算

Set. **\_\_or\_\_** (rset) → *Set* | rset

Set と rset のいずれかに含まれる集合を返します.

パラメータ **rset** (*iterable*) -- Set や set でなくても構いません.

戻り値

戻り値の型 *Set*

## サンプル

```

>>> I = Set(value=[1,2,3,4], name='I')
>>> J = Set(value=[2,4,6,8], name='J')
>>> I | J
Set(name='(I|J)', value=[1, 2, 3, 4, 6, 8])
>>> I | {2,4,6,8}
Set(name='(I|{8, 2, 4, 6})', value=[1, 2, 3, 4, 8, 6])
>>> I | [2,4,6,8]
Set(name='(I|[2, 4, 6, 8])', value=[1, 2, 3, 4, 6, 8])

```

Set. **\_\_and\_\_** (rset) → Set & rset

Set と rset の両方に含まれる集合を返します。

パラメータ **rset** (*iterable*) -- Set や set でなくても構いません。

戻り値

戻り値の型 *Set*

#### サンプル

```
>>> I = Set(value=[1,2,3,4], name='I')
>>> J = Set(value=[2,4,6,8], name='J')
>>> I & J
Set(name='(I&J)', value=[2, 4])
>>> I & {2,4,6,8}
Set(name='(I&{8, 2, 4, 6})', value=[2, 4])
>>> I & [2,4,6,8]
Set(name='(I&[2, 4, 6, 8])', value=[2, 4])
```

Set. **\_\_xor\_\_** (*rset*) → Set ^ rset

Set と rset のいずれか一方にだけ含まれる集合を返します。

パラメータ **rset** (*iterable*) -- Set や set でなくても構いません。

戻り値

戻り値の型 *Set*

#### サンプル

```
>>> I = Set(value=[1,2,3,4], name='I')
>>> J = Set(value=[2,4,6,8], name='J')
>>> I ^ J
Set(name='(I^J)', value=[1, 3, 6, 8])
>>> I ^ {2,4,6,8}
Set(name='(I^{8, 2, 4, 6})', value=[1, 3, 8, 6])
>>> I ^ [2,4,6,8]
Set(name='(I^[2, 4, 6, 8])', value=[1, 3, 6, 8])
```

Set. **\_\_ror\_\_** (*lset*) → lset | *Set*

lset と Set のいずれかに含まれる集合を返します。

パラメータ **lset** (*iterable*) -- Set や set でなくても構いません。

戻り値

戻り値の型 *Set*

## サンプル

```
>>> I = Set(value=[1,2,3,4], name='I')
>>> {2,4,6,8} | I
Set(name='({8, 2, 4, 6}|I)', value=[1, 2, 3, 4, 8, 6])
>>> [2,4,6,8] | I
Set(name='([2, 4, 6, 8]|I)', value=[1, 2, 3, 4, 6, 8])
```

Set. **\_\_rand\_\_** (lset) → lset & Set

lset と Set の両方に含まれる集合を返します。

パラメータ **lset** (iterable) -- Set や set でなくても構いません。

戻り値

戻り値の型 *Set*

## サンプル

```
>>> I = Set(value=[1,2,3,4], name='I')
>>> {2,4,6,8} & I
Set(name='({8, 2, 4, 6}&I)', value=[2, 4])
>>> [2,4,6,8] & I
Set(name='([2, 4, 6, 8]&I)', value=[2, 4])
```

Set. **\_\_rxor\_\_** (lset) → lset ^ Set

lset と Set のいずれか一方にだけ含まれる集合を返します。

パラメータ **lset** (iterable) -- Set や set でなくても構いません。

戻り値

戻り値の型 *Set*

## サンプル

```
>>> I = Set(value=[1,2,3,4], name='I')
>>> {2,4,6,8} ^ I
Set(name='({8, 2, 4, 6}^I)', value=[1, 3, 8, 6])
>>> [2,4,6,8] ^ I
Set(name='([2, 4, 6, 8]^I)', value=[1, 3, 6, 8])
```

Cond. **\_\_or\_\_** (rcond) → Cond | rcond

Cond と rcond のいずれかの条件を満たす条件式を返します。

パラメータ **rcond** (Cond) --

戻り値

戻り値の型 *Cond*

#### サンプル

```
>>> i = Element(value=[1,2,3], name='i')
>>> (i<2) | (2<i)
((i<2)|(i>2))[i] in [1, 3]
```

---

#### 注釈:

- 「演算子の優先順位」により、各条件には括弧をつける必要があります。
- 

Cond. **\_\_and\_\_** (rcond) → Cond & rcond

Cond と rcond の両方の条件を満たす条件式を返します。

パラメータ **rcond** (Cond) --

戻り値

戻り値の型 *Cond*

#### サンプル

```
>>> i = Element(value=[1,2,3], name='i')
>>> (1<i) & (i<3)
((i>1)&(i<3))[i] in [2]
```

---

#### 注釈:

- 「演算子の優先順位」により、各条件には括弧をつける必要があります。
  - 3 つ以上の条件文の場合、Condition 関数を使用した方が効率的で見やすいです。Condition(i, (1<i, i<5, i!=3))
- 

#### 参考:

*pysimple.Condition*

## 5.5 用語集

**iterable** `__iter__` メソッドを持つクラスです。Python 組込み型では `tuple`, `list`, `set`, `dict` などが、PySIMPLE では `Set`, `Parameter`, `Variable` などが該当します。

**mutableset** 抽象基底クラス `collections.abc.MutableSet` を継承しているクラスです。Python 組込み型では `set` などが、PySIMPLE では `Set` などが該当します。

**data-type** キーや値として使用できる型です。数値型と文字列型が該当します。

**element-like** 添字として使用できる型です。 `Element`, `ElementSlice`, `Cond` 型です。

**funcable-type** 数学関数 に使用できる型です。 `data-type`, `element-like`, `Parameter`, `Table` 型です。

**operable-type** 演算 ができる型です。 `data-type`, `element-like`, `Parameter`, `Table`, `Variable`, `Expression` 型です。



## 第 6 章

# 更新履歴

### 6.1 [1.3.1] - 2022-06-30

Added

- #6 Parameter と Set の比較

Parameter と Set の比較ができるようになりました.

```
>>> i = Element(value=[1, 2, 3], name='i')
>>> S = Set(value=[3, 4], name='S')
>>> i < S
(i<S)[i] in [3]
>>> i+1 < S
((i+1)[i]<S)[i] in [2, 3]
>>> i+1 < [3, 4]
((i+1)[i]<[3, 4])[i] in [2, 3]
>>> a = Parameter(index=i, name='a'); a[i]=i+1
>>> a[i] < S
(a[i]<S)[i] in [2, 3]
>>> a[i] < [3, 4]
(a[i]<[3, 4])[i] in [2, 3]
```

- #8 Parameter を含んだ Expression のアクセス

`Expression.__getitem__` に Parameter が使用できるようになりました.

```
>>> I = Set(value=[1,2]); i = Element(set=I, name='i')
>>> J = Set(value=[3,4]); j = Element(set=J, name='j')
>>> x = Variable(index=(i,j), init={ij: sum(ij) for ij in I*J}, name='x')
>>> e = x[i,j] + 1
>>> b = Parameter(index=j, value={3: 4, 4: 3}, name='b')
>>> e[i, b[j]].val
(x[i,j]+1)[i,b[j]][1,3].val=6
```

(次のページに続く)

(前のページからの続き)

```
(x[i,j]+1)[i,b[j]][1,4].val=5
(x[i,j]+1)[i,b[j]][2,3].val=7
(x[i,j]+1)[i,b[j]][2,4].val=6
```

**Fixed**

- **#1022** 条件文の結果を間違えることがある

修正漏れを再修正しました。

- **#1077** メモリリーク

メモリリーク箇所の修正を行いました。

- **#1085** 実行可能解が見つからないのに `isFeasible()` が `True`

実行可能解が得られていないにも関わらず `isFeasible` 関数が `True` になることがある不具合を修正しました。

## 6.2 [1.3.0] - 2022-03-28

**Added**

- **#4** IIS 情報の取得

線形計画問題において互いに矛盾する制約式がある場合、その最小の組を IIS(Irreducible Infeasible Set) と呼びます。この IIS を Python オブジェクトとして取得できるようになりました。実行不可能な場合に、原因となる制約の特定や、その制約に対するケアなどを自動化する強力な手助けとなります。詳細は [実行不可能性要因検出機能](#) をご確認ください。

```
>>> x = Variable(name='x', lb=0)
>>> y = Variable(name='y', lb=0, ub=1)
>>> z = Variable(name='z', lb=0)
>>> p = Problem()
>>> p += x + y + z
>>> p += y + z >= 0, 'cons1'
>>> p += x + y >= 5, 'cons2'
>>> p += x + z <= 3, 'cons3'
>>> p.solve(silent=True)
3 # NloptStatus.INFEASIBLE
>>> p.result.iis
0: cons2: violation=-1
   x+y>=5
1: cons3
   -x-z>=-3
```



- **#42** PySIMPLE オブジェクトのシリアルライズ

PySIMPLE オブジェクトをバイナリにシリアルライズできるようになりました。詳細は [PySIMPLE オブジェクトのシリアルライズ](#) をご確認ください。

```
>>> i = Element(value=[1, 2, 3], name='i')
>>> x = Variable(index=i, name='x')
>>> with open('dump.pkl', 'wb') as f:
...     Serialize.dump(x, f)
...
>>> with open('dump.pkl', 'rb') as g:
...     x_ = Serialize.load(g)
...
...
```

- **#1036** Problem に登録されている変数一覧の取得

Problem クラスに属性 `variables` が追加されました。詳細は [variables](#) をご確認ください。

- **#34** Problem の番号アクセス

`__getitem__` に番号アクセスできるようになりました。負数も使用可能です。 `constraints` や `variables` も同様のアクセスができます。また、 `__delitem__` においても同様です。

```
>>> x = Variable(name='x')
>>> y = Variable(name='y')
>>> p = Problem()
>>> p += x >= 1, 'cons1'
>>> p += y >= 1, 'cons2'
>>> p['cons2']
cons2:
y>=1
>>> p[1]
cons2:
y>=1
>>> p[-1]
cons2:
y>=1
>>> p.constraints['cons2']
cons2:
y>=1
>>> p.constraints[-1]
cons2:
y>=1
>>> p.variables['y']
y:
y
>>> p.variables[-1]
y:
y
```

- **#35** 値の丸め

組み込み関数 `round` でパラメータ値や計算結果の値を丸めることができました。詳細は [\\_\\_round\\_\\_](#) をご確認ください。

```
>>> p = Problem()
:
>>> p.solve(silent=True)
1
>>> x.val
x[0].val=1.500000000256067
x[1].val=2.9999999999710107
>>> round(x[i].val, 2)
round(x[i].val, 2)[0]=1.5
round(x[i].val, 2)[1]=3.0
```

- **#37** 目的関数の削除

設定した目的関数を `del` 文で削除することができるようになりました。詳細は [objective](#) をご確認ください。

```
>>> x = Variable(name='x')
>>> y = Variable(name='y')
>>> p = Problem()
>>> p += x
>>> p.objective
x:
x
>>> p += y
pysimple.error.SimpleError: objective can only be assigned once
>>> del p.objective
>>> p += y
>>> p.objective
y:
y
```

- **#45** Python 3.10 対応

Python 3.10 に対応しました。

Changed

- **#17** 制約種の LP/QP での利用

[制約式種](#) ハード制約, セミハード制約, ソフト制約を LP/QP の一部解法でも利用できるようになりました。

- **#33** 目的関数の初期値

[objective](#) の初期値を空の式としました。以前は `None` でした。

```
>>> p = Problem()
>>> p.objective
<empty>:
0
```

- **#56** wcsp/wls で二次の制約

wcsp/wls で二次の制約を扱えるようになりました。制約充足問題ソルバ *wcsp/wls*。

- **#57** wls で unbounded な整数変数

wls で整数変数を扱う際に上下限制約がなくても扱えるようになりました。制約充足問題ソルバ *wcsp/wls*。

Removed

- **#46** Python 3.7 サポート

Python 3.7 は非対応となりました。

## 6.3 [1.2.1] - 2021-06-16

Fixed

- **#919** KeyError のエラーメッセージ

Expression 型に対する `__getitem__` で発生する KeyError のメッセージを再考しました。メッセージは式の項単位となります。

```
>>> i = Element(value=[1,2], name='i')
>>> j = Element(value=[3,4], name='j')
>>> x = Variable(index=i, name='x')
>>> z = Variable(index=(i,j), name='z')
>>> exp = Sum(z[i,j], j) + x[i]
>>> exp[0]
KeyError: 'Sum(z[i,j], j)[0]'
```

- **#1004** mpsout で整数性が消失するケースがある

変数が制約式にあらわれず、目的関数のみあるいは全くあらわれない場合、*mpsout* で出力される mps ファイルにおいて連続変数として記述されるという不具合を修正しました。

- **#1007** PySIMPLE の mpsout でファイル名を長くすると mpssolver で読めなくなる

*mpsout* で指定されたファイル名が長すぎると、仕様を満たさない mps ファイルが出力されるという不具合を修正しました。

- **#1013** 範囲関数の空集合が含まれていたときの値

PYSIMPLE-119 で演算結果に添字が残る場合のパラメータの結果を再修正しました。

```
>>> i0 = Element(value=[], name='i0')
>>> i1 = Element(value=[1,2], name='i1')
>>> a = Parameter(index=(i0,i1), name='a')
>>> a
# empty
>>> Sum(a[i0,i1], i0) # fixed
Sum(a[i0,i1], i0)[1]=0
Sum(a[i0,i1], i0)[2]=0
>>> Sum(a[i0,i1], i1)
# empty
>>> Sum(a[i0,i1])
0
```

- #1019 PySIMPLE の `mpsout` が目的関数の定数項に対応していない

目的関数が定数項を含む場合、`mpsout` が目的関数を誤って出力する不具合を修正しました。

- #1022 条件文の結果を間違えることがある

稀に条件文の結果を間違えることがある不具合を修正しました。

## 6.4 [1.2.0] - 2021-03-29

### Added

- PYSIMPLE-135 二次計画問題対応

制約式、目的関数に二次式を扱うことができるようになりました。

- PYSIMPLE-136 `wcsp/wls` 対応

重み付き制約充足問題に対するメタヒューリスティクス解法 `wcsp` を呼び出せるようになりました。新たなメタヒューリスティクスアルゴリズム `wls` を利用できるようになりました。

- PYSIMPLE-172 Python 3.9 対応

Python 3.9 に対応しました。

### Changed

- PYSIMPLE-185 `Variable/Expression.val` の戻り値型の統一性

添字を持たない式に対する `.val` 等の属性は `Table` を返すようにしました。以前は組込み型でした。特に目的関数が該当するので注意ください。

- PYSIMPLE-192 変数の `bound error` のタイミング

変数の bound チェックを行うタイミングを求解時から宣言時にしました。ただし、`type` 属性を後から変更したタイミングでは bound チェックは行われません。

```
>>> x = Variable(lb=3, ub=2, name='x')
pysimple.error.SimpleError: infeasible bound of variable x ( defined infeasible_
↳bound [3 <= * <= 2] )
```

Removed

- **PYSIMPLE-198** Python 3.6 サポート

Python 3.6 は非対応となりました。

Fixed

- **#967** 同類項が整理されていない式の二項演算の結果を間違う

同類項が整理されていない式に対して二項演算の結果を間違う不具合を修正しました。同類項の整理アルゴリズムの強化に加え、同類項が整理されていない場合でも問題ないアルゴリズムとしました。

- **#992** `setitem` でエラーになることがある

`setitem` で意図しない `IndexError` が発生することがある不具合を修正しました。

- **PYSIMPLE-118** 条件を更に `Condition` で条件付けると `SimpleError` になる

`Cond` 型のオブジェクトを `Condition` に用いると `SimpleError` になる不具合を修正しました。

```
>>> i = Element(value=[0,1,2], name='i')
>>> i0 = i>0
>>> Condition(i0, i0<2)
((i>0), ((i>0)<2))[(i>0)] in [1]
```

## 6.5 [1.1.2] - 2020-09-11

Fixed

- **#954** 変数の同類項を複数含む式同士の加減でエラー

計算でエラーとなっていたものを修正しました。

```
>>> i = Element(value=[1,2], name='i')
>>> x = Variable(index=i, name='x')
>>> y = Variable(index=i, name='y')
>>> e = x[i] + y[i]
>>> e
(x[i]+y[i]):
```

(次のページに続く)

(前のページからの続き)

```

x[1]+y[1]
x[2]+y[2]
>>> e + e # fixed
((x[i]+y[i])[i]+(x[i]+y[i])[i]):
2*x[1]+2*y[1]
2*x[2]+2*y[2]

```

- **#965** 上下限值や定数項に  $2^{31}$  以上の整数型を指定するとオーバーフロー

変数の上下限值や定数項に  $2^{31}$  以上の整数型を指定すると求解時に `OverflowError` となる不具合を修正しました。

## 6.6 [1.1.1] - 2020-06-08

### Added

- **#883** Collection メソッドのサポート

`collections.abc.Collection` がサポートするメンバ `__contains__`, `__len__`, `__iter__` を *Parameter*, *Table*, *Variable*, *Expression*, *Constraint*, のすべてがサポートするようになりました。

### Fixed

- **#933** 添字が逆転する演算を間違う

`j*x[i, j]` のように、変数の添字に対して演算結果の添字が逆転する場合に計算結果を誤る不具合を修正しました。

```

>>> i = Element(value='XY', name='i')
>>> j = Element(value=[1, 2], name='j')
>>> x = Variable(index=(i, j), name='x')
>>> j*x[i, j] # Index(j, i)
(j*x[i, j]):
x['X', 1]
x['Y', 1]
2*x['X', 2]
2*x['Y', 2]

```

- **PYSIMPLE-181** 範囲関数の範囲重複判定の厳密化

範囲関数の範囲に同じ添字を含んでいてもスライス単位で重複していなければ許可されるようになりました。

- **PYSIMPLE-184** 特定の式に対する二項演算ができない

特定の変数・式同士の二項演算ができない不具合を修正しました。

## 6.7 [1.1.0] - 2020-03-02

PySIMPLE 1.1.0 では式展開が劇的に高速化されました。1.0.1 と比較して 10 倍以上の高速化を達成し、SIMPLE と比較しても遜色のない速度になりました。

また、[Nuorium エディタ](#) も外部コマンドの実行に対応し、Nuorium エディタ上で PySIMPLE が動作するようになりました。→ [数理計画問題を解く](#)

動作環境も Linux, Mac がサポートされるようになり、最新の Python 3.8 にも対応しました。

### Added

- PYSIMPLE-140 Linux, Mac 版

Linux, Mac 版に対応しました。

- PYSIMPLE-158 Python 3.8 対応

Python 3.8 に対応しました。

- PYSIMPLE-157 Set のスライス

`__getitem__` の引数にスライスオブジェクトが対応しました。

```
>>> I = Set(value=[1,2,3], name='I')
>>> I
Set(name='I', value=[1, 2, 3])
>>> I[:-1]
Set(name='I[:-1]', value=[1, 2])
```

- #839 求解オプションの初期化

設定した求解オプションを `del` 文で初期値に戻すことができるようになりました。

```
>>> p = Problem()
>>> print(p.options.maxTime)
None
>>> p.options.maxTime = 1
>>> p.options.maxTime
1
>>> del p.options.maxTime
>>> print(p.options.maxTime)
None
```

また、`del p.options` ですべての求解オプションを初期値に戻すことができます。詳細は [求解オプション](#) をご確認ください。

- PYSIMPLE-80 mpsout

Problem に `mpsout` メソッドが追加されました。詳細は [mpsout](#) をご確認ください。

## Changed

- **PYSIMPLE-153** bound 周りの仕様

`lb`, `ub` 属性は `immutable` になり, `bound` 制約は制約式に一本化されました. これにより変数, 制約式の `dual` が正しく取得できます.

```
>>> i = Element(value=[1,2], name='i')
>>> x = Variable(index=i, lb=15, name='x')
>>> x.lb
x[1].lb=15
x[2].lb=15
>>> p = Problem()
>>> p += x[i] >= i*10, 'cons'
>>> x.lb
x[1].lb=15
x[2].lb=15
>>> p += Sum(x[i])
>>> p.solve(silent=True)
1
>>> x.val
x[1].val=15.000000041666626
x[2].val=20.000000041666624
>>> x.dual
x[1].dual=1.0
x[2].dual=0.0
>>> p['cons'].dual
cons[1].dual=0.0
cons[2].dual=1.0
```

## Removed

- **PYSIMPLE-167** Python 3.5 サポート

Python 3.5 は非対応となりました.

## Fixed

- **#805** 多次元集合の一部メソッドの引数制限

実装の都合により, 多次元集合に対する `__getitem__`, `next`, `prev` の引数に `element-like` を禁止します. `index` では可能です.

```
>>> IJ = Set(value=[(1,2), (3,4), (5,6)], name='IJ')
>>> i = Element(value=[0,2], name='i')
>>> IJ[0]
(1, 2)
>>> IJ[i]
TypeError: cannot apply IJ[i] to multidimensional Set
```

(次のページに続く)



(前のページからの続き)

```

>>> ij = Element(value=[3,4], name='ij')
>>> IJ.next((3,4))
(5, 6)
>>> IJ.next(ij)
TypeError: cannot apply IJ.next(ij) to multidimensional Set
>>> IJ.index((3,4))
1
>>> IJ.index(ij)
IJ.index(ij)[3,4]=1

```

- #852 Parameter \* Variable/Expression の添字順

Parameter \* Variable/Expression の演算結果のインデックス順を出現順にしました。

```

>>> i = Element(value=[1,2], name='i')
>>> j = Element(value=[3,4], name='j')
>>> a = Parameter(index=(i,j), name='a')
>>> x = Variable(index=j, name='x')
>>> a[i,j] = 10*i+j
>>> ax = a[i,j]*x[j]
>>> ax
(a[i,j]*x[j]):
13*x[3]
14*x[4]
23*x[3]
24*x[4]
>>> ax.index
Index(i,j)

```

- PYSIMPLE-69 目的関数の定数値の処理

目的関数に定数項が存在した場合、求解情報や `optValue` に反映されない不具合を修正しました。  
`objective` の `val` 属性は今まで通り正しい値が入ります。

```

>>> i = Element(value=[1,2])
>>> x = BinaryVariable(index=i)
>>> p = Problem(type=max)
>>> p += Sum(x[i]) + 10
>>> p.solve()
:
VALUE_OF_OBJECTIVE 12
:
>>> p.result.optValue
12.0
>>> p.objective.val
12

```

- PYSIMPLE-76 IPython 環境から実行した場合の出力先

求解情報がコンソールに出力される不具合を修正しました。

- **PYSIMPLE-137** `silent=True` で主要なインタプリタから求解できない

IDLE や IPython などのインタプリタ上で `silent=True` で求解できない不具合を修正しました。

## 6.8 [1.0.1] - 2019-07-01

Fixed

- **PYSIMPLE-104** 目的関数に与えていない変数の初期値が変わる

一部を目的関数に与えた変数のうち、与えていない部分の値が変わる不具合を修正しました。

```
>>> p = Problem()
>>> i = Element(value=[1,2], name='i')
>>> x = Variable(index=i, lb=1, init=2, name='x')
>>> x.val
x[1].val=2
x[2].val=2
>>> p += x[2]
>>> p.solve(silent=True)
1
>>> x.val
x[1].val=2 # 2 のままになるようにした
x[2].val=1.0000000002083331
```

- **PYSIMPLE-117** 範囲演算における戻り値のインデックス順

範囲演算における戻り値のインデックス順を出現順にしました。

```
>>> ij = Element(value=[(1,3), (1,4), (2,3)], name='ij')
>>> i = Element(set=ij.set(0), name='i')
>>> j = Element(set=ij.set(1), name='j')
>>> y = Variable(index=(i,j), name='y')
>>> y[i,j] = 10*i+j
>>> y.val
y[1,3].val=13
y[1,4].val=14
y[2,3].val=23
y[2,4].val=24
>>> Sum(y[ij(0),j], ij(0)).index
Index(ij(1),j) # 以前は (j,ij(1)) だった
>>> Sum(y[ij(0),j], ij(0))
Sum(y[ij(0),j], ij(0)):
y[1,3]+y[2,3]
y[1,4]+y[2,4]
y[1,3]
```

(次のページに続く)

(前のページからの続き)

```

y[1,4]
>>> Sum(y[ij(0),j], ij(0)).val
Sum(y[ij(0),j], ij(0))[3,3].val=36
Sum(y[ij(0),j], ij(0))[3,4].val=38
Sum(y[ij(0),j], ij(0))[4,3].val=13
Sum(y[ij(0),j], ij(0))[4,4].val=14

```

- **PYSIMPLE-119** 範囲関数の範囲に空集合が含まれていたときの値

挙動を SIMPLE に合わせました。

```

>>> i0 = Element(value=[], name='i0')
>>> i1 = Element(value=[1], name='i1')
>>> y = Variable(index=(i0,i1), name='y')
>>> Sum(y[i0,i1], i0)
Sum(y[i0,i1], i0):
0
>>> Sum(y[i0,i1], i1)
Sum(y[i0,i1], i1):
# 空の式が返るようにした
>>> Sum(y[i0,i1], (i0,i1))
Sum(y[i0,i1], (i0,i1)):
0

```

- **PYSIMPLE-125** Parameter を含むアクセスをした式の表示

少し複雑なアクセスを含む式の表示がおかしくなる不具合を修正しました。

```

>>> i = Element(value=[1,2,3], name='i')
>>> x = Variable(index=i, name='x')
>>> t = Element(value=[1,2], name='t')
>>> x[t]
x:
x[1]
x[2]
>>> x[t+1]
x[(t+1)[t]]:
x[(t+1)[t]][1]
x[(t+1)[t]][2]
>>> x[t+1]+1
(x[(t+1)[t]][t]+1):
x[2]+1
x[3]+1
>>> x[t] + x[t+1]
(x[t]+x[(t+1)[t]][t]):
x[1]+x[2]
x[2]+x[3]

```

(次のページに続く)

(前のページからの続き)

```
>>> x[t+1] + x[t]
(x[(t+1)[t]][t]+x[t]):
x[1]+x[2]
x[2]+x[3]
```

## 6.9 [1.0.0] - 2019-03-08

リリース

## 第 7 章

# ライセンス

END-USER LICENSE AGREEMENT FOR NTT DATA MATHEMATICAL SYSTEMS INC. IMPORTANT PLEASE READ THE TERMS AND CONDITIONS OF THIS LICENSE AGREEMENT CAREFULLY BEFORE CONTINUING WITH THIS PROGRAM INSTALL: NTT DATA MATHEMATICAL SYSTEMS INC.'s End-User License Agreement ("EULA") is a legal agreement between you (either an individual or a single entity) and NTT DATA Mathematical Systems Inc. for the NTT DATA Mathematical Systems Inc. software product(s) which may include associated software components, media, printed materials, and "online" or electronic documentation ("PySIMPLE"). By installing, copying, or otherwise using PySIMPLE, you agree to be bound by the terms of this EULA. This license agreement represents the entire agreement concerning the program between you and NTT DATA Mathematical Systems Inc., (referred to as "licenser"), and it supersedes any prior proposal, representation, or understanding between the parties. If you do not agree to the terms of this EULA, do not install or use PySIMPLE.

PySIMPLE is protected by copyright laws and international copyright treaties, as well as other intellectual property laws and treaties. The PySIMPLE is licensed, not sold.

### 1. GRANT OF LICENSE.

PySIMPLE is licensed as follows:

- (a) Installation and Use. NTT DATA Mathematical Systems Inc. grants you the right to install and use copies of PySIMPLE on your computer running a validly licensed copy of the operating system for which PySIMPLE was designed.
- (b) Backup Copies. You may also make copies of PySIMPLE as may be necessary for backup and archival purposes.

### 2. DESCRIPTION OF OTHER RIGHTS AND LIMITATIONS.

- (a) Maintenance of Copyright Notices. You must not remove or alter any copyright notices on any and all copies of PySIMPLE.
- (b) Distribution. You may not distribute registered copies of PySIMPLE to third parties.
- (c) Prohibition on Reverse Engineering, Decompilation, and Disassembly. You may not reverse engineer, decompile, or disassemble PySIMPLE, except and only to the extent that such activity is expressly permitted by applicable law

notwithstanding this limitation.

(d) Rental. You may not rent, lease, or lend PySIMPLE.

(e) Support Services. NTT DATA Mathematical Systems Inc. may provide you with support services related to PySIMPLE ("Support Services"). Any supplemental software code provided to you as part of the Support Services shall be considered part of PySIMPLE and subject to the terms and conditions of this EULA.

(f) Compliance with Applicable Laws. You must comply with all applicable laws regarding use of PySIMPLE.

### 3. TERMINATION

Without prejudice to any other rights, NTT DATA Mathematical Systems Inc. may terminate this EULA if you fail to comply with the terms and conditions of this EULA. In such event, you must destroy all copies of PySIMPLE in your possession.

### 4. COPYRIGHT

All title, including but not limited to copyrights, in and to PySIMPLE and any copies thereof are owned by NTT DATA Mathematical Systems Inc. All title and intellectual property rights in and to the content which may be accessed through use of PySIMPLE is the property of the respective content owner and may be protected by applicable copyright or other intellectual property laws and treaties. This EULA grants you no rights to use such content. All rights not expressly granted are reserved by NTT DATA Mathematical Systems Inc.

### 5. NO WARRANTIES

NTT DATA Mathematical Systems Inc. expressly disclaims any warranty for PySIMPLE. The PySIMPLE is provided 'As Is' without any express or implied warranty of any kind, including but not limited to any warranties of merchantability, noninfringement, or fitness of a particular purpose. NTT DATA Mathematical Systems Inc. does not warrant or assume responsibility for the accuracy or completeness of any information, text, graphics, links or other items contained within PySIMPLE. NTT DATA Mathematical Systems Inc. makes no warranties respecting any harm that may be caused by the transmission of a computer virus, worm, time bomb, logic bomb, or other such computer program. NTT DATA Mathematical Systems Inc. further expressly disclaims any warranty or representation to Authorized Users or to any third party.

### 6. LIMITATION OF LIABILITY

In no event shall NTT DATA Mathematical Systems Inc. be liable for any damages (including, without limitation, lost profits, business interruption, or lost information) rising out of 'Authorized Users' use of or inability to use PySIMPLE, even if NTT DATA Mathematical Systems Inc. has been advised of the possibility of such damages. In no event will NTT DATA Mathematical Systems Inc. be liable for loss of data or for indirect, special, incidental, consequential (including lost profit), or other damages based in contract, tort or otherwise. NTT DATA Mathematical Systems Inc. shall have no liability with respect to the content of PySIMPLE or any part thereof, including but not limited to errors or omissions contained therein, libel, infringements of rights of publicity, privacy, trademark rights, business interruption, personal injury, loss of privacy, moral rights or the disclosure of confidential information.

NTT DATA Mathematical Systems Inc. Rengakan 1F 35 SHINANOMACHI, SHINJUKUKU, TOKYO, 160-0016 JAPAN

Copyright (c) 2019 NTT DATA Mathematical Systems Inc. All rights reserved.





# Python モジュール索引

## p

`pysimple`, [163](#)

`pysimple.func`, [150](#)

## S

`sample.reidaishu`, [92](#)

`sample.sudoku`, [92](#)

`sample.tutorial`, [85](#)



# 索引

\_\_abs\_\_() (pysimple.Element のメソッド), 103  
 \_\_abs\_\_() (pysimple.Parameter のメソッド), 106  
 \_\_add\_\_() (pysimple モジュール), 165  
 \_\_and\_\_() (pysimple.condition.Cond のメソッド), 176  
 \_\_and\_\_() (pysimple.Set のメソッド), 173  
 \_\_bool\_\_() (pysimple.Parameter のメソッド), 106  
 \_\_call\_\_() (pysimple.Element のメソッド), 103  
 \_\_call\_\_() (pysimple.Set のメソッド), 96  
 \_\_ceil\_\_() (pysimple.Element のメソッド), 103  
 \_\_ceil\_\_() (pysimple.Parameter のメソッド), 106  
 \_\_contains\_\_() (pysimple.constraint.Constraint のメソッド), 126  
 \_\_contains\_\_() (pysimple.expression.Expression のメソッド), 122  
 \_\_contains\_\_() (pysimple.Parameter のメソッド), 106  
 \_\_contains\_\_() (pysimple.Set のメソッド), 97  
 \_\_contains\_\_() (pysimple.Variable のメソッド), 113  
 \_\_delitem\_\_() (pysimple.Problem のメソッド), 130  
 \_\_dir\_\_() (pysimple.options.ProblemOptions のメソッド), 139  
 \_\_eq\_\_() (pysimple.\_compare.pysimple のメソッド), 171  
 \_\_float\_\_() (pysimple.Parameter のメソッド), 106  
 \_\_floor\_\_() (pysimple.Element のメソッド), 104  
 \_\_floor\_\_() (pysimple.Parameter のメソッド), 107  
 \_\_floordiv\_\_() (pysimple モジュール), 166  
 \_\_ge\_\_() (pysimple.\_compare.pysimple のメソッド), 170  
 \_\_getitem\_\_() (pysimple.constraint.Constraint のメソッド), 126  
 \_\_getitem\_\_() (pysimple.expression.Expression のメソッド), 122  
 \_\_getitem\_\_() (pysimple.Parameter のメソッド), 107  
 \_\_getitem\_\_() (pysimple.Problem のメソッド), 130  
 \_\_getitem\_\_() (pysimple.Set のメソッド), 97  
 \_\_getitem\_\_() (pysimple.Variable のメソッド), 113  
 \_\_gt\_\_() (pysimple.\_compare.pysimple のメソッド), 168  
 \_\_iadd\_\_() (pysimple.Problem のメソッド), 131  
 \_\_int\_\_() (pysimple.Parameter のメソッド), 108  
 \_\_iter\_\_() (pysimple.constraint.Constraint のメソッド), 127  
 \_\_iter\_\_() (pysimple.expression.Expression のメソッド), 123  
 \_\_iter\_\_() (pysimple.Parameter のメソッド), 108  
 \_\_iter\_\_() (pysimple.Set のメソッド), 98  
 \_\_iter\_\_() (pysimple.Variable のメソッド), 114  
 \_\_le\_\_() (pysimple.\_compare.pysimple のメソッド), 169  
 \_\_len\_\_() (pysimple.constraint.Constraint のメソッド), 127  
 \_\_len\_\_() (pysimple.expression.Expression のメソッド), 124  
 \_\_len\_\_() (pysimple.Parameter のメソッド), 109  
 \_\_len\_\_() (pysimple.Variable のメソッド), 115  
 \_\_lt\_\_() (pysimple.\_compare.pysimple のメソッド), 167  
 \_\_mod\_\_() (pysimple モジュール), 165  
 \_\_mul\_\_() (pysimple モジュール), 165  
 \_\_mul\_\_() (pysimple.Set のメソッド), 163  
 \_\_ne\_\_() (pysimple.\_compare.pysimple のメソッド), 172  
 \_\_neg\_\_() (pysimple モジュール), 163  
 \_\_or\_\_() (pysimple.condition.Cond のメソッド), 175  
 \_\_or\_\_() (pysimple.Set のメソッド), 173

\_\_pos\_\_() (pysimple モジュール), 163  
 \_\_pow\_\_() (pysimple モジュール), 166  
 \_\_radd\_\_() (pysimple モジュール), 167  
 \_\_rand\_\_() (pysimple.Set のメソッド), 175  
 \_\_rdiv\_\_() (pysimple モジュール), 167  
 \_\_rfloordiv\_\_() (pysimple モジュール), 167  
 \_\_rmod\_\_() (pysimple モジュール), 167  
 \_\_rmul\_\_() (pysimple モジュール), 167  
 \_\_rmul\_\_() (pysimple.Set のメソッド), 164  
 \_\_ror\_\_() (pysimple.Set のメソッド), 174  
 \_\_round\_\_() (pysimple.Parameter のメソッド), 109  
 \_\_rpow\_\_() (pysimple モジュール), 167  
 \_\_rsub\_\_() (pysimple モジュール), 167  
 \_\_rsub\_\_() (pysimple.Set のメソッド), 164  
 \_\_rtruediv\_\_() (pysimple モジュール), 167  
 \_\_rxor\_\_() (pysimple.Set のメソッド), 175  
 \_\_setitem\_\_() (pysimple.Parameter のメソッド), 110  
 \_\_setitem\_\_() (pysimple.Variable のメソッド), 115  
 \_\_sub\_\_() (pysimple モジュール), 165  
 \_\_sub\_\_() (pysimple.Set のメソッド), 163  
 \_\_truediv\_\_() (pysimple モジュール), 166  
 \_\_xor\_\_() (pysimple.Set のメソッド), 174

Acos() (pysimple.func モジュール), 150  
 Acosh() (pysimple.func モジュール), 150  
 Asin() (pysimple.func モジュール), 150  
 Asinh() (pysimple.func モジュール), 150  
 Atan() (pysimple.func モジュール), 151  
 Atan2() (pysimple.func モジュール), 151  
 Atanh() (pysimple.func モジュール), 151

BinaryVariable (pysimple のクラス), 120  
 branchCut() (pysimple.options.ProblemOptions のプロパティ), 139  
 branchCutoff() (pysimple.options.ProblemOptions のプロパティ), 139  
 branchDiving() (pysimple.options.ProblemOptions のプロパティ), 139  
 branchFeasPump() (pysimple.options.ProblemOptions のプロパティ), 139  
 branchGapTolerance() (pysimple.options.ProblemOptions のプロパティ), 139  
 branchMaxNode() (pysimple.options.ProblemOptions のプロパティ), 139  
 branchMaxSolutionCount() (pysimple.options.ProblemOptions のプロパティ), 139  
 branchNodeSelect() (pysimple.options.ProblemOptions のプロパティ), 139  
 branchParallelMethod() (pysimple.options.ProblemOptions のプロパティ), 139  
 branchRelativeGapTolerance() (pysimple.options.ProblemOptions のプロパティ), 139

branchRens() (pysimple.options.ProblemOptions のプロパティ), 139

branchRepairSolution() (pysimple.options.ProblemOptions のプロパティ), 139

branchRins() (pysimple.options.ProblemOptions のプロパティ), 139

branchUseWcsp() (pysimple.options.ProblemOptions のプロパティ), 139

branchVariableSelectScore() (pysimple.options.ProblemOptions のプロパティ), 139

branchWcspMaxIteration() (pysimple.options.ProblemOptions のプロパティ), 140

branchWcspMaxTime() (pysimple.options.ProblemOptions のプロパティ), 140

Ceil() (pysimple.func モジュール), 151

Cond (pysimple.condition のクラス), 104

Condition() (pysimple モジュール), 148

consInfeasibility() (pysimple.problem.Result のプロパティ), 143

consname() (pysimple.problem.IIS.OneIIS のプロパティ), 145

Constraint (pysimple.constraint のクラス), 126

constraints() (pysimple.Problem のプロパティ), 132

ConstraintWeight (pysimple.constraint のクラス), 129

Cos() (pysimple.func モジュール), 151

Cosh() (pysimple.func モジュール), 152

CUT\_AGGRESSIVE (pysimple.Options.Branch の属性), 141

CUT\_OFF (pysimple.Options.Branch の属性), 141

CUT\_ON (pysimple.Options.Branch の属性), 141

data-type, 177

DIVING\_AGGRESSIVE (pysimple.Options.Branch の属性), 141

DIVING\_AUTO (pysimple.Options.Branch の属性), 141

DIVING\_OFF (pysimple.Options.Branch の属性), 141

DIVING\_ON (pysimple.Options.Branch の属性), 141

DIVING\_SUPERAGGRESSIVE (pysimple.Options.Branch の属性), 141

dual() (pysimple.constraint.Constraint のプロパティ), 127

dual() (pysimple.problem.IIS.OneIIS のプロパティ), 145

dual() (pysimple.Variable のプロパティ), 116

DUAL\_INFEASIBLE (pysimple.NuoptStatus の属性), 142

dump() (pysimple.serialize.Serialize の静的メソッド), 146

dumps() (pysimple.serialize.Serialize の静的メソッド), 146

elapsedTime() (pysimple.problem.Result のプロパティ), 143

Element (pysimple のクラス), 102

element-like, 177

ElementSlice (pysimple.element のクラス), 104

Erf() (pysimple.func モジュール), 152

ERROR (pysimple.NuoptStatus の属性), 142

errorCode() (pysimple.problem.Result のプロパティ), 143

errorMessage() (pysimple.problem.Result のプロパティ), 143

Exp() (pysimple.func モジュール), 152

Expression (pysimple.expression のクラス), 122

Fabs() (pysimple.func モジュール), 152

factCount() (pysimple.problem.Result のプロパティ), 143

FEASIBLE (pysimple.NuoptStatus の属性), 142

FEASPUMP\_AUTO (pysimple.Options.Branch の属性), 141

FEASPUMP\_OFF (pysimple.Options.Branch の属性), 141

FEASPUMP\_ON (pysimple.Options.Branch の属性), 141

fevals() (pysimple.problem.Result のプロパティ), 143

Floor() (pysimple.func モジュール), 152

Fmod() (pysimple.func モジュール), 152

formatted() (pysimple.problem.IIS.OneIIS のプロパティ), 145

Fprintf() (pysimple モジュール), 149

funcable-type, 177

get() (pysimple.Parameter のメソッド), 111

HardConstraint() (pysimple.constraint モジュール), 161

hardPenalty() (pysimple.problem.Result のプロパティ), 143

hasSolution() (pysimple.Problem のメソッド), 133

higherCrossover() (pysimple.options.ProblemOptions のプロパティ), 140

Hypot() (pysimple.func モジュール), 152

IIS (pysimple.problem のクラス), 144

iis() (pysimple.problem.Result のプロパティ), 143

IIS.OneIIS (pysimple.problem のクラス), 145

index() (pysimple.Set のメソッド), 99

infeasibility() (pysimple.problem.Result のプロパティ), 143

INFEASIBLE (pysimple.NuoptStatus の属性), 142

init() (pysimple.expression.Expression のプロパティ), 124

init() (pysimple.Variable のプロパティ), 116

INITIAL (pysimple.NuoptStatus の属性), 142

IntegerVariable (pysimple のクラス), 119

isFeasible() (pysimple.Problem のメソッド), 134

isHard() (pysimple.constraint.Constraint のメソッド), 128

isInfeasible() (pysimple.Problem のメソッド), 134

isSemiHard() (pysimple.constraint.Constraint のメソッド), 128

isSoft() (pysimple.constraint.Constraint のメソッド), 128

items() (pysimple.Parameter のメソッド), 111

iterable, 177

iters() (pysimple.problem.Result のプロパティ), 143

key() (pysimple.problem.IIS.OneIIS のプロパティ), 145

keys() (pysimple.Parameter のメソッド), 111

kktEps() (pysimple.options.ProblemOptions のプロパティ), 140

lb() (pysimple.Variable のプロパティ), 117

load() (pysimple.serialize.Serialize の静的メソッド), 147

loads() (pysimple.serialize.Serialize の静的メソッド), 147

Log() (pysimple.func モジュール), 153

Log10() (pysimple.func モジュール), 153

Max() (pysimple.func モジュール), 153

maxIteration() (pysimple.options.ProblemOptions のプロパティ), 140

maxMemory() (pysimple.options.ProblemOptions のプロパティ), 140

MaxOf() (pysimple.func モジュール), 154

maxTime() (pysimple.options.ProblemOptions のプロパティ), 140

method() (pysimple.options.ProblemOptions のプロパティ), 140

method() (pysimple.problem.Result のプロパティ), 143

Min() (pysimple.func モジュール), 155

MinOf() (pysimple.func モジュール), 156

mpsout() (pysimple.Problem のメソッド), 134

mutableset, 177

name() (pysimple.constraint.Constraint のプロパティ), 128

name() (pysimple.Element のプロパティ), 104

name() (pysimple.expression.Expression のプロパティ), 125

name() (pysimple.Parameter のプロパティ), 111

name() (pysimple.Problem のプロパティ), 135

name() (pysimple.Set のプロパティ), 100

name() (pysimple.Variable のプロパティ), 117

next() (pysimple.Set のメソッド), 100

nfunc() (pysimple.problem.Result のプロパティ), 143

no() (pysimple.problem.IIS.OneIIS のプロパティ), 145

NODESELECT\_AUTO (pysimple.Options.Branch の属性), 141

NODESELECT\_BESTDEPTH (pysimple.Options.Branch の属性), 141

NODESELECT\_BESTESTIMATE (pysimple.Options.Branch の属性), 141

NuoptError, 162

NuoptStatus (pysimple のクラス), 142

nvars() (pysimple.problem.Result のプロパティ), 144

`objective()` (`pysimple.Problem` のプロパティ), 135  
`objectiveTarget()` (`pysimple.options.ProblemOptions` のプロパティ), 140  
`oil1()` (`sample.tutorial` モジュール), 85  
`oil2()` (`sample.tutorial` モジュール), 85  
`oil3()` (`sample.tutorial` モジュール), 85  
`oil4()` (`sample.tutorial` モジュール), 85  
`oil5()` (`sample.tutorial` モジュール), 85  
`oil6()` (`sample.tutorial` モジュール), 85  
`oil7()` (`sample.tutorial` モジュール), 85  
`operable-type`, 177  
`OPTIMAL` (`pysimple.NuoptStatus` の属性), 142  
`Options` (`pysimple` のクラス), 141  
`options()` (`pysimple.Problem` のプロパティ), 136  
`Options.Branch` (`pysimple` のクラス), 141  
`optValue()` (`pysimple.problem.Result` のプロパティ), 144  
  
`p2010_mixture()` (`sample.reidaishu` モジュール), 92  
`p2020_transport2()` (`sample.reidaishu` モジュール), 92  
`p2030_multiplan2()` (`sample.reidaishu` モジュール), 92  
`p2040_DEA()` (`sample.reidaishu` モジュール), 92  
`p2050_knapsack2()` (`sample.reidaishu` モジュール), 92  
`p2060_cover2()` (`sample.reidaishu` モジュール), 92  
`p2070_maxflow2()` (`sample.reidaishu` モジュール), 92  
`p2071_maxflow3()` (`sample.reidaishu` モジュール), 92  
`p2072_mincut()` (`sample.reidaishu` モジュール), 92  
`p2080_mincost2()` (`sample.reidaishu` モジュール), 92  
`p2090_multiflow2()` (`sample.reidaishu` モジュール), 92  
`p2100_median2()` (`sample.reidaishu` モジュール), 92  
`p2110_center2()` (`sample.reidaishu` モジュール), 93  
`p2120_TSP2()` (`sample.reidaishu` モジュール), 93  
`p2132_fieldassign2()` (`sample.reidaishu` モジュール), 93  
`p2132_fieldassign3()` (`sample.reidaishu` モジュール), 93  
`p2133_jobassign3()` (`sample.reidaishu` モジュール), 93  
`p2133_jobassign4()` (`sample.reidaishu` モジュール), 93  
`p2140_QAP()` (`sample.reidaishu` モジュール), 93  
`p2150_FPP()` (`sample.reidaishu` モジュール), 93  
`p2160_leastsquare2()` (`sample.reidaishu` モジュール), 93  
`p2170_portfoliol1()` (`sample.reidaishu` モジュール), 93  
`p2230_maxcut2()` (`sample.reidaishu` モジュール), 93  
`p2260_pseudoinverse()` (`sample.reidaishu` モジュール), 93  
`PARALLELMETHOD_DETERMINISTIC_RACING`  
     (`pysimple.Options.Branch` の属性), 142  
`PARALLELMETHOD_RACING` (`pysimple.Options.Branch` の属性),  
     142  
`PARALLELMETHOD_SUBTREE` (`pysimple.Options.Branch` の属性),  
     142  
`Parameter` (`pysimple` のクラス), 105  
`prev()` (`pysimple.Set` のメソッド), 101  
`Printf()` (`pysimple` モジュール), 148  
`Problem` (`pysimple` のクラス), 129  
`ProblemOptions` (`pysimple.options` のクラス), 138  
`Prod()` (`pysimple.func` モジュール), 157  
`pysimple`  
     モジュール, 163  
`pysimple.func`  
     モジュール, 150  
  
`QVariable` (`pysimple.expression` のクラス), 122  
  
`randomSeed()` (`pysimple.options.ProblemOptions` のプロパティ),  
     140  
`RENS_AUTO` (`pysimple.Options.Branch` の属性), 142  
`RENS_OFF` (`pysimple.Options.Branch` の属性), 142  
`RENS_ON` (`pysimple.Options.Branch` の属性), 142  
`residual()` (`pysimple.problem.Result` のプロパティ), 144  
`Result` (`pysimple.problem` のクラス), 143  
`result()` (`pysimple.Problem` のプロパティ), 136  
  
`RINS_AUTO` (`pysimple.Options.Branch` の属性), 142  
`RINS_OFF` (`pysimple.Options.Branch` の属性), 142  
`RINS_ON` (`pysimple.Options.Branch` の属性), 142  
  
`sample.reidaishu`  
     モジュール, 92  
`sample.sudoku`  
     モジュール, 92  
`sample.tutorial`  
     モジュール, 85  
`scaling()` (`pysimple.options.ProblemOptions` のプロパティ), 140  
`Selection()` (`pysimple.func` モジュール), 160  
`SelectionConstraint` (`pysimple.constraint` のクラス), 128  
`SemiHardConstraint()` (`pysimple.constraint` モジュール), 161  
`semiHardPenalty()` (`pysimple.problem.Result` のプロパティ),  
     144  
`Serialize` (`pysimple.serialize` のクラス), 146  
`Set` (`pysimple` のクラス), 95  
`set()` (`pysimple.Element` のプロパティ), 104  
`showsudoku()` (`sample.sudoku` モジュール), 92  
`SimpleError`, 162  
`simplexDualTolerance()` (`pysimple.options.ProblemOptions`  
     のプロパティ), 140  
`simplexPrimalTolerance()`  
     (`pysimple.options.ProblemOptions` のプロパティ), 140  
`Sin()` (`pysimple.func` モジュール), 158  
`Sinh()` (`pysimple.func` モジュール), 158  
`SoftConstraint()` (`pysimple.constraint` モジュール), 161  
`softPenalty()` (`pysimple.problem.Result` のプロパティ), 144  
`solve()` (`pysimple.Problem` のメソッド), 136  
`Sqrt()` (`pysimple.func` モジュール), 158  
`status()` (`pysimple.NuoptStatus` のクラスメソッド), 142  
`status()` (`pysimple.Problem` のプロパティ), 137  
`sudoku()` (`sample.sudoku` モジュール), 92  
`Sum()` (`pysimple.func` モジュール), 158  
  
`Table` (`pysimple.table` のクラス), 111  
`Tan()` (`pysimple.func` モジュール), 160  
`Tanh()` (`pysimple.func` モジュール), 160  
`threads()` (`pysimple.options.ProblemOptions` のプロパティ), 140  
`tolerance()` (`pysimple.problem.Result` のプロパティ), 144  
`tryCount()` (`pysimple.options.ProblemOptions` のプロパティ), 141  
`type()` (`pysimple.Variable` のプロパティ), 117  
  
`ub()` (`pysimple.Variable` のプロパティ), 118  
`UNBOUNDED` (`pysimple.NuoptStatus` の属性), 142  
`UNKNOWN` (`pysimple.NuoptStatus` の属性), 142  
  
`val()` (`pysimple.expression.Expression` のプロパティ), 125  
`val()` (`pysimple.Variable` のプロパティ), 118  
`values()` (`pysimple.Parameter` のメソッド), 111  
`Variable` (`pysimple` のクラス), 112  
`variables()` (`pysimple.Problem` のプロパティ), 137  
`variables()` (`pysimple.problem.IIS.OneIIS` のプロパティ), 145  
`VARIABLESELECTSCORE_AUTO` (`pysimple.Options.Branch` の属  
     性), 142  
`VARIABLESELECTSCORE_PRODUCT` (`pysimple.Options.Branch` の  
     属性), 142  
`VARIABLESELECTSCORE_SUM` (`pysimple.Options.Branch` の属性),  
     142  
`varInfeasibility()` (`pysimple.problem.Result` のプロパティ),  
     144  
`violation()` (`pysimple.constraint.Constraint` のプロパティ), 128  
`violation()` (`pysimple.problem.IIS.OneIIS` のプロパティ), 145  
  
`wcspInitialValueActivation()`  
     (`pysimple.options.ProblemOptions` のプロパティ), 141  
`wcspPhaseOneMaxTime()` (`pysimple.options.ProblemOptions` の  
     プロパティ), 141

`wcspPhaseTwoMaxInterval()`  
(`pysimple.options.ProblemOptions` のプロパティ), [141](#)  
`weight()` (`pysimple.constraint.Constraint` のプロパティ), [128](#)

モジュール

`pysimple`, [163](#)  
`pysimple.func`, [150](#)  
`sample.reidaishu`, [92](#)  
`sample.sudoku`, [92](#)  
`sample.tutorial`, [85](#)