
デスクリプタ ガイド

リリース 3.12.3

Guido van Rossum and the Python development team

5 月 18, 2024

目次

1	入門	3
1.1	シンプルな例: 定数を返すデスクリプタ	3
1.2	動的なルックアップ	4
1.3	管理された属性	5
1.4	名前のカスタマイズ	6
1.5	まとめ	8
2	実践的なサンプル	8
2.1	バリデータクラス	8
2.2	カスタムバリデータ	9
2.3	実践的なアプリケーション	10
3	技術的なチュートリアル	11
3.1	概要	11
3.2	定義と導入	11
3.3	デスクリプタプロトコル	12
3.4	デスクリプタ呼び出しの概要	12
3.5	インスタンスからの呼び出し	12
3.6	クラスからの呼び出し	13
3.7	super からの呼び出し	14
3.8	呼び出しロジックのまとめ	14
3.9	自動的な名前の伝達	14
3.10	ORM のサンプル	15
4	ピュア Python の等価実装	16
4.1	プロパティ	16
4.2	関数とメソッド	18
4.3	メソッドの種類	19
4.4	静的メソッド	20
4.5	クラスメソッド	21

著者

Raymond Hettinger

問い合わせ先

<python at rcn dot com>

目次

- デスクリプタ ガイド

- 入門

- * シンプルな例: 定数を返すデスクリプタ
 - * 動的なルックアップ
 - * 管理された属性
 - * 名前のカスタマイズ
 - * まとめ

- 実践的なサンプル

- * バリデータクラス
 - * カスタムバリデータ
 - * 実践的なアプリケーション

- 技術的なチュートリアル

- * 概要
 - * 定義と導入
 - * デスクリプタプロトコル
 - * デスクリプタ呼び出しの概要
 - * インスタンスからの呼び出し
 - * クラスからの呼び出し
 - * *super* からの呼び出し
 - * 呼び出しロジックのまとめ
 - * 自動的の名前の伝達

- * ORM のサンプル
- ピュア Python の等価実装
- * プロパティ
- * 関数とメソッド
- * メソッドの種類
- * 静的メソッド
- * クラスメソッド
- * メンバーオブジェクトと `__slots__`

デスクリプタ を使うと、オブジェクトの属性検索、保存、削除をカスタマイズできます。

本ガイドは 4 つの大項目から構成されています。

- 1) 最初の「入門」では基本の紹介をして、シンプルな例から少しずつ概念を説明していきます。もしデスクリプタに触れるのが初めての場合はここから学んでいきましょう。
- 2) 2 つ目のセクションでは完全で実践的なデスクリプタのサンプルを紹介します。もしデスクリプタの基本を理解しているのであれば、ここから読み始めても良いでしょう。
- 3) 3 番目のセクションはより技巧的なチュートリアルを通じて、デスクリプタがどのようなメカニズムで動作しているのかを紹介します。多くの人はこのレベルの理解は不要でしょう。
- 4) 最後のセクションは、C で書かれた組み込みのデスクリプタをピュア Python で実現する方法を紹介します。このセクションがどのように関数が束縛メソッドになるのか、`classmethod()` や `staticmethod()`, `property()`, `__slots__` といった一般的なツールの実装がどのようなになっているのか興味を持ったなら読んでください。

1 入門

この入門では、なるべく基礎的なところから開始し、新しい要素を一つずつ紹介していきます。

1.1 シンプルな例: 定数を返すデスクリプタ

Ten クラスはデスクリプタで、その `__get__()` メソッドは常に定数の 10 を返します。

```
class Ten:
    def __get__(self, obj, objtype=None):
        return 10
```

このデスクリプタを使うには他のクラスのクラス変数として保存します:

```
class A:
    x = 5                # Regular class attribute
    y = Ten()           # Descriptor instance
```

インタラクティブセッションを使って、通常の属性ルックアップと、デスクリプタのルックアップの違いを見てみましょう。

```
>>> a = A()            # Make an instance of class A
>>> a.x                # Normal attribute lookup
5
>>> a.y                # Descriptor lookup
10
```

`a.x` 属性ルックアップではドット演算子がクラス辞書の中から `'x': 5` を見つけます。`a.y` ルックアップではドット演算子は `__get__` メソッドを持つデスクリプタインスタンスを取得します。そのメソッドを呼び出すと、10 を返します。

10 はクラスの辞書にも、インスタンスの辞書にも格納されていません。その代わり、10 はオンデマンドに計算されます。

このサンプルは、シンプルなデスクリプタがどのように動作するかを説明するためのものですが、実用的ではありません。定数を返す場合、通常の属性アクセスの方が良いでしょう。

次のセクションでは、より実践的な動的なルックアップを作成します。

1.2 動的なルックアップ

単に定数を返すよりも、なにか処理を実行するデスクリプタの方が面白いでしょう。

```
import os

class DirectorySize:

    def __get__(self, obj, objtype=None):
        return len(os.listdir(obj.dirname))

class Directory:

    size = DirectorySize()                # Descriptor instance

    def __init__(self, dirname):
        self.dirname = dirname           # Regular instance attribute
```

インタラクティブセッションで見たように、この探索は動的です。実行ごとに異なる計算を行い、毎回答えが更新されます。

```
>>> s = Directory('songs')
>>> g = Directory('games')
```

(次のページに続く)

```

>>> s.size                # The songs directory has twenty files
20
>>> g.size                # The games directory has three files
3
>>> os.remove('games/chess')    # Delete a game
>>> g.size                # File count is automatically updated
2

```

このサンプルはデスクリプタの中でどのように処理を行うかだけでなく、`__get__()` の引数の目的も示しています。 `self` パラメータは `size` で、`DirectorySize` のインスタンスです。 `obj` パラメータは `g` や `s` といった `Directory` のインスタンスです。 `obj` により、`__get__()` はターゲットのディレクトリを知れます。 `objtype` パラメータは `Directory` クラスです。

1.3 管理された属性

デスクリプタで広く使われる用途がインスタンスのデータへのアクセスの管理です。このデスクリプタはクラス辞書のパブリックな属性に割り当てられますが、実際のデータはインスタンス辞書のプライベートな属性に保存します。パブリックなアクセスが行われると、デスクリプタの `__get__()` と `__set__()` メソッドが実行されます。

このサンプルでは `age` はパブリックな属性で、`_age` はプライベートな属性です。パブリックな属性がアクセスされると、デスクリプタはルックアップや更新のログ出力をします。

```

import logging

logging.basicConfig(level=logging.INFO)

class LoggedAgeAccess:

    def __get__(self, obj, objtype=None):
        value = obj._age
        logging.info('Accessing %r giving %r', 'age', value)
        return value

    def __set__(self, obj, value):
        logging.info('Updating %r to %r', 'age', value)
        obj._age = value

class Person:

    age = LoggedAgeAccess()    # Descriptor instance

    def __init__(self, name, age):
        self.name = name      # Regular instance attribute
        self.age = age        # Calls __set__()

    def birthday(self):
        self.age += 1         # Calls both __get__() and __set__()

```

インタラクティブセッションの結果で見てわかるように、管理された属性の `age` のログ出力が行われますが、通常の属性の `name` はログ出力されません。

```
>>> mary = Person('Mary M', 30)           # The initial age update is logged
INFO:root:Updating 'age' to 30
>>> dave = Person('David D', 40)
INFO:root:Updating 'age' to 40

>>> vars(mary)                             # The actual data is in a private attribute
{'name': 'Mary M', '_age': 30}
>>> vars(dave)
{'name': 'David D', '_age': 40}

>>> mary.age                               # Access the data and log the lookup
INFO:root:Accessing 'age' giving 30
30
>>> mary.birthday()                       # Updates are logged as well
INFO:root:Accessing 'age' giving 30
INFO:root:Updating 'age' to 31

>>> dave.name                             # Regular attribute lookup isn't logged
'David D'
>>> dave.age                               # Only the managed attribute is logged
INFO:root:Accessing 'age' giving 40
40
```

このサンプル実装には大きな問題があります。プライベートな名前の `_age` が `LoggedAgeAccess` クラスの中でハードコードされています。そのため、どのインスタンスも1つしかこのログ出力される属性が作れず、名前を変更できません。次のサンプルでこの問題を解決していきます。

1.4 名前のカスタマイズ

クラスがデスクリプタを使うときに、クラスはそれぞれのデスクリプタにどのような変数名を使うかを通知します。

このサンプルでは `Person` クラスは、`name` と `age` という2つのデスクリプタインスタンスを持っています。`Person` が定義されると、`LoggedAccess` の `__set_name__()` にコールバックを行うため、フィールド名を記録できます。それぞれのデスクリプタは、`public_name` と `private_name` を持ちます。

```
import logging

logging.basicConfig(level=logging.INFO)

class LoggedAccess:

    def __set_name__(self, owner, name):
        self.public_name = name
        self.private_name = '_' + name
```

(次のページに続く)

```

def __get__(self, obj, objtype=None):
    value = getattr(obj, self.private_name)
    logging.info('Accessing %r giving %r', self.public_name, value)
    return value

def __set__(self, obj, value):
    logging.info('Updating %r to %r', self.public_name, value)
    setattr(obj, self.private_name, value)

class Person:

    name = LoggedAccess()           # First descriptor instance
    age = LoggedAccess()           # Second descriptor instance

    def __init__(self, name, age):
        self.name = name           # Calls the first descriptor
        self.age = age             # Calls the second descriptor

    def birthday(self):
        self.age += 1

```

インタラクティブセッション上で試すと、Person クラスが `__set_name__()` を呼び出し、フィールド名が記録されることが分かります。vars() を呼んで、デスクリプタを起動しないでデスクリプタを取得してみましょう。

```

>>> vars(vars(Person)['name'])
{'public_name': 'name', 'private_name': '_name'}
>>> vars(vars(Person)['age'])
{'public_name': 'age', 'private_name': '_age'}

```

新しいクラスは `name` と `age` の両方でログを出力します。

```

>>> pete = Person('Peter P', 10)
INFO:root:Updating 'name' to 'Peter P'
INFO:root:Updating 'age' to 10
>>> kate = Person('Catherine C', 20)
INFO:root:Updating 'name' to 'Catherine C'
INFO:root:Updating 'age' to 20

```

2つの Person のインスタンスは、プライベート名しか保持していません。

```

>>> vars(pete)
{'_name': 'Peter P', '_age': 10}
>>> vars(kate)
{'_name': 'Catherine C', '_age': 20}

```

1.5 まとめ

`__get__()`、`__set__()`、あるいは `__delete__()` メソッドを定義したあらゆるオブジェクトが、我々が descriptor と呼ぶものです。

それに追加して、デスクリプタは `__set_name__()` メソッドを持つこともできます。このメソッドは、デスクリプタが設定されるクラス、あるいはアサインされたクラス変数を知る必要がある場合に利用されます。もし存在していれば、クラスがデスクリプタでなくても呼ばれます。

デスクリプタは属性のルックアップ中に、ドット演算子によって呼び出されます。`vars(some_class)[descriptor_name]` という書き方によって間接的にデスクリプタがアクセスされると、デスクリプタを実行することなく、デスクリプタのインスタンスが返されます。

デスクリプタはクラス変数として利用したときにだけ動作します。インスタンスに設定しても効果はありません。

デスクリプタは、クラス変数として格納されているオブジェクトが属性ルックアップ中に発生することを制御できるように、フックを提供することが主なモチベーションとなっています。

伝統的には、呼び出し側のクラスが、ルックアップ中に発生することを制御してきましたが、デスクリプタはその関係を逆転させ、検索されているデータが問題に介入できるようにします。

デスクリプタは、Python のさまざまなところで利用されています。これにより、単なる関数は、インスタンスに束縛されたメソッドになります。`classmethod()`、`staticmethod()`、`property()`、`functools.cached_property()` といったツールもすべて、デスクリプタとして実装されています。

2 実践的なサンプル

このサンプルでは、発見が極めて難しいデータ破損バグを特定するのに利用可能な、実践的でパワフルなツールを紹介します。

2.1 バリデータクラス

バリデータは管理された属性アクセスのためのデスクリプタです。データを格納する前に、新しい値が型が適合しているか、値の範囲制限に適合しているかを検証します。もし制限に合わなければ、例外を送出し、データが不正な状態になるのを防ぎます。

`Validator` クラスは abstract base class であり、属性管理デスクリプタでもあります。

```
from abc import ABC, abstractmethod

class Validator(ABC):

    def __set_name__(self, owner, name):
        self.private_name = '_' + name

    def __get__(self, obj, objtype=None):
```

(次のページに続く)


```

        return getattr(obj, self.private_name)

    def __set__(self, obj, value):
        self.validate(value)
        setattr(obj, self.private_name, value)

    @abstractmethod
    def validate(self, value):
        pass

```

カスタムバリデータを作成するには Validator を継承し、validate() メソッドを作成して必要に応じてさまざまな制約の検証を行います。

2.2 カスタムバリデータ

ここでは3つの実践的なバリデーションのユーティリティのサンプルを紹介します。

- 1) OneOf は制限された候補の集合に含まれる値かどうかを検証します。
- 2) Number は値が int か float かどうかを検証します。オプションで、値が指定された最小値と最大値に含まれるかも検証します。
- 3) String は値が str かどうかを検証します。オプションで、指定された最小、最大の長さの検証をします。ユーザー定義の [術語](#) 検証も行えます。

```

class OneOf(Validator):

    def __init__(self, *options):
        self.options = set(options)

    def validate(self, value):
        if value not in self.options:
            raise ValueError(f'Expected {value!r} to be one of {self.options!r}')

class Number(Validator):

    def __init__(self, minvalue=None, maxvalue=None):
        self.minvalue = minvalue
        self.maxvalue = maxvalue

    def validate(self, value):
        if not isinstance(value, (int, float)):
            raise TypeError(f'Expected {value!r} to be an int or float')
        if self.minvalue is not None and value < self.minvalue:
            raise ValueError(
                f'Expected {value!r} to be at least {self.minvalue!r}'
            )
        if self.maxvalue is not None and value > self.maxvalue:
            raise ValueError(

```

(次のページに続く)

```

        f'Expected {value!r} to be no more than {self.maxvalue!r}'
    )

class String(Validator):

    def __init__(self, minsize=None, maxsize=None, predicate=None):
        self.minsize = minsize
        self.maxsize = maxsize
        self.predicate = predicate

    def validate(self, value):
        if not isinstance(value, str):
            raise TypeError(f'Expected {value!r} to be an str')
        if self.minsize is not None and len(value) < self.minsize:
            raise ValueError(
                f'Expected {value!r} to be no smaller than {self.minsize!r}'
            )
        if self.maxsize is not None and len(value) > self.maxsize:
            raise ValueError(
                f'Expected {value!r} to be no bigger than {self.maxsize!r}'
            )
        if self.predicate is not None and not self.predicate(value):
            raise ValueError(
                f'Expected {self.predicate} to be true for {value!r}'
            )

```

2.3 実践的なアプリケーション

次のコードは実際のクラスでデータバリデータを使う方法のサンプルです。

```

class Component:

    name = String(minsize=3, maxsize=10, predicate=str.isupper)
    kind = OneOf('wood', 'metal', 'plastic')
    quantity = Number(minvalue=0)

    def __init__(self, name, kind, quantity):
        self.name = name
        self.kind = kind
        self.quantity = quantity

```

これらのデスクリプタは、不正インスタンスが作成されるのを防ぎます。

```

>>> Component('Widget', 'metal', 5)           # Blocked: 'Widget' is not all uppercase
Traceback (most recent call last):
...
ValueError: Expected <method 'isupper' of 'str' objects> to be true for 'Widget'

>>> Component('WIDGET', 'metle', 5)           # Blocked: 'metle' is misspelled

```

(次のページに続く)

```

Traceback (most recent call last):
...
ValueError: Expected 'mettle' to be one of {'metal', 'plastic', 'wood'}

>>> Component('WIDGET', 'metal', -5)      # Blocked: -5 is negative
Traceback (most recent call last):
...
ValueError: Expected -5 to be at least 0
>>> Component('WIDGET', 'metal', 'V')     # Blocked: 'V' isn't a number
Traceback (most recent call last):
...
TypeError: Expected 'V' to be an int or float

>>> c = Component('WIDGET', 'metal', 5)   # Allowed: The inputs are valid

```

3 技術的なチュートリアル

これから先はデスクリプタのメカニズムや動作の詳細について、よりテクニカルなチュートリアルになります。

3.1 概要

デスクリプタの定義、プロトコルのサマリー、デスクリプタがどのように呼び出されるかの説明、OR マッパーがどのように動作するかのサンプルを提示します。

デスクリプタについて学ぶことにより、新しいツールセットが使えるようになるだけでなく、Python の仕組みについてのより深い理解が得られます。

3.2 定義と導入

一般に、デスクリプタは、デスクリプタプロトコルで定義されたメソッドを持つ属性値です。このメソッドは、`__get__()`、`__set__()`、および `__delete__()` です。これらのメソッドのいずれかが、オブジェクトに定義されていれば、それは **デスクリプタ** と呼ばれます。

属性アクセスのデフォルトの振る舞いは、オブジェクトの辞書の属性の取得、設定、削除です。例えば `a.x` は、まず `a.__dict__['x']`、それから `type(a).__dict__['x']`、さらに `type(a)` のメソッド探索順序に従ったさらなる探索へと連鎖します。見つかった値が、デスクリプタメソッドのいずれかを定義しているオブジェクトなら、Python はそのデフォルトの振る舞いをオーバーライドし、代わりにデスクリプタメソッドを呼び出します。これがどの連鎖順位で行われるかは、どのデスクリプタメソッドが定義されているかに依ります。

デスクリプタは、強力な、多目的のプロトコルです。これはプロパティ、メソッド、静的メソッド、クラスメソッド、そして `super()` の背後にある機構です。Python のいたるところで使われています。デスクリプタは、基幹にある C コードを簡潔にし、毎日の Python プログラムに、柔軟な新しいツール群を提供します。

3.3 デスクリプタプロトコル

```
descr.__get__(self, obj, type=None)
```

```
descr.__set__(self, obj, value)
```

```
descr.__delete__(self, obj)
```

これで全てです。これらのメソッドのいずれかを定義すれば、オブジェクトはデスクリプタとみなされ、探索された際のデフォルトの振る舞いをオーバーライドできます。

あるオブジェクトが `__set__()` と `__delete__()` の両方を定義していたら、それはデータデスクリプタとみなされます。`__get__()` だけを定義しているデスクリプタは、非データデスクリプタと呼ばれます (これらはよくメソッドに使われますが、他の使い方も出来ます)。

データデスクリプタと非データデスクリプタでは、オーバーライドがインスタンスの辞書のエントリに関してどのように計算されるかが異なります。インスタンスの辞書に、データデスクリプタと同名の項目があれば、データデスクリプタの方が優先されます。インスタンスの辞書に、非データデスクリプタと同名の項目があれば、辞書の項目の方が優先されます。

読み出し専用のデータデスクリプタを作るには、`__get__()` と `__set__()` の両方を定義し、`__set__()` が呼び出されたときに `AttributeError` が送出されるようにしてください。例外を送出する `__set__()` メソッドをプレースホルダとして定義すれば、データデスクリプタにするのに十分です。

3.4 デスクリプタ呼び出しの概要

`desc.__get__(obj)` や `desc.__get__(None, cls)` を使うとデスクリプタを直接呼び出すことができます。

しかし、属性アクセスの際に自動的に呼び出されるのが、一般的なデスクリプタの呼び出し方法です。

式 `obj.x` は `obj` の名前空間のチェーンの中で属性 `x` を探索します。もし、その探索のロジックの中で、インスタンスの `__dict__` の外でデスクリプタを見つけた場合、探索ルールのリストのリストに従って、そのデスクリプタの `__get__()` メソッドが呼び出されます。

呼び出しの詳細は、`obj` がオブジェクトかクラスか、`super` のインスタンスかに依ります。

3.5 インスタンスからの呼び出し

名前空間のチェーンの中で行われるインスタンスルックアップでは、データデスクリプタが最優先で、次にインスタンス変数、その次にノンデータデスクリプタ、クラス変数、最後に存在したら `__getattr__()` が呼ばれます。

`a.x` に対するデスクリプタが見つかった場合、`desc.__get__(a, type(a))` という形式で呼び出されます。

ドットによるルックアップのロジックは `object.__getattribute__()` の中で行われます。ピュア Python で表した等価なロジックは次の通りです。

```

def find_name_in_mro(cls, name, default):
    "Emulate _PyType_Lookup() in Objects/typeobject.c"
    for base in cls.__mro__:
        if name in vars(base):
            return vars(base)[name]
    return default

def object_getattribute(obj, name):
    "Emulate PyObject_GenericGetAttr() in Objects/object.c"
    null = object()
    objtype = type(obj)
    cls_var = find_name_in_mro(objtype, name, null)
    descr_get = getattr(type(cls_var), '__get__', null)
    if descr_get is not null:
        if (hasattr(type(cls_var), '__set__')
            or hasattr(type(cls_var), '__delete__')):
            return descr_get(cls_var, obj, objtype)      # data descriptor
    if hasattr(obj, '__dict__') and name in vars(obj):
        return vars(obj)[name]                          # instance variable
    if descr_get is not null:
        return descr_get(cls_var, obj, objtype)          # non-data descriptor
    if cls_var is not null:
        return cls_var                                  # class variable
    raise AttributeError(name)

```

`__getattribute__()` のコードには `__getattr__()` のフックが無いことに注意してください。このため、直接 `__getattribute__()` を呼び出すか、`super().__getattribute__` で呼び出すと、`__getattr__()` が完全にバイパスされます。

その代わりに、`__getattribute__()` が `AttributeError` を発出したときに `__getattr__()` を呼び出すのは、ドット演算子と `getattr()` の責任です。これらのロジックはヘルパー関数にカプセル化されています：

```

def getattr_hook(obj, name):
    "Emulate slot_tp_getattr_hook() in Objects/typeobject.c"
    try:
        return obj.__getattribute__(name)
    except AttributeError:
        if not hasattr(type(obj), '__getattr__'):
            raise
        return type(obj).__getattr__(obj, name)          # __getattr__

```

3.6 クラスからの呼び出し

A.x のようなドットを使ったルックアップのロジックは `type.__getattribute__()` の中にあります。ロジックのステップは `object.__getattribute__()` と似ていますが、インスタンス辞書のルックアップはクラスの `method resolution order` を通じた探索と置き換えられています。

a.x に対するデスク립タが見つかった場合、`desc.__get__(None, A)` という形式で呼び出されます。

完全な C での実装は `Objects/typeobject.c` の中の `c:func:type_getattro` と `_PyType_Lookup()` を参照して

ください。

3.7 super からの呼び出し

super のドットを使ったルックアップは `super()` が返すオブジェクトの `__getattribute__()` メソッドの中で行われます。

`super(A, obj).m` のようなドットを使ったルックアップは `obj.__class__.__mro__` を探索して、A の直前のクラス B をまず探し、`B.__dict__['m'].__get__(obj, A)` を返します。もしデスクリプタでなければ `m` を変更せずに返します。

完全な C での実装は `Objects/typeobject.c` の中の `super_getattro()` を参照してください。純粋な Python での同等なコードは ‘Guido’s Tutorial <<https://www.python.org/download/releases/2.2.3/descrintro/#cooperation>>’ を参照してください。

3.8 呼び出しロジックのまとめ

デスクリプタのメカニズムは、`object`、`type`、`super()` の `__getattribute__()` メソッドの中に組み込まれています。

憶えておくべき重要な点は:

- デスクリプタは `__getattribute__()` メソッドによって呼び出される
- クラスはこの機構を `object`、`type`、`super()` から継承する
- すべてのデスクリプタのロジックが `__getattribute__()` にあるため、このメソッドをオーバーライドすると、すべての自動的なデスクリプタ呼び出しは抑制される
- `object.__getattribute__()` と `type.__getattribute__()` は `__get__()` の呼び出し方が異なる。前者はインスタンスとおそらくメソッドを含む。後者はインスタンスとして `None` を渡し、クラスは常に渡される
- データデスクリプタは、必ずインスタンス辞書をオーバーライドする
- 非データデスクリプタは、インスタンス辞書にオーバーライドされることがある

3.9 自動的の名前の伝達

デスクリプタにとって、自分がアサインされるクラス変数名が知りたいことがあります。新しいクラスが作られると、`type` メタクラスは新しいクラスの辞書をスキャンします。もし、要素がデスクリプタで、なおかつ `__set_name__()` メソッドを持っている場合、このメソッドは 2 つの引数を伴って呼び出されます。`owner` はデスクリプタが使用されたクラスで、`name` はデスクリプタがアサインされたクラス変数の名前です。

実装の詳細は `Objects/typeobject.c` の中の `type_new()` と `set_names()` を参照してください。

更新のロジックは `type.__new__()` にあり、通知はクラス作成のタイミングにしかありません。もしデスクリプタが後からクラスに追加された場合は、`__set_name__()` を手動で呼び出す必要があるでしょう。

3.10 ORM のサンプル

以下のコードは、オブジェクト関係マッピングを実装するのにデータディスクリプタを使う方法を示した、簡略化された骨格です。

基本的な考え方は、データが外部のデータベースに保存することです。Python インスタンスは、データベースのテーブルへのキーのみを保持します。ディスクリプタがルックアップや更新をします。

```
class Field:

    def __set_name__(self, owner, name):
        self.fetch = f'SELECT {name} FROM {owner.table} WHERE {owner.key}=?;'
        self.store = f'UPDATE {owner.table} SET {name}=? WHERE {owner.key}=?;'

    def __get__(self, obj, objtype=None):
        return conn.execute(self.fetch, [obj.key]).fetchone()[0]

    def __set__(self, obj, value):
        conn.execute(self.store, [value, obj.key])
        conn.commit()
```

Field クラスを使って、データベースのテーブルごとのスキーマを説明するための `モデル` を定義します。

```
class Movie:
    table = 'Movies'           # Table name
    key = 'title'              # Primary key
    director = Field()
    year = Field()

    def __init__(self, key):
        self.key = key

class Song:
    table = 'Music'
    key = 'title'
    artist = Field()
    year = Field()
    genre = Field()

    def __init__(self, key):
        self.key = key
```

モデルを使用するにはまずデータベースに接続します:

```
>>> import sqlite3
>>> conn = sqlite3.connect('entertainment.db')
```

次のインタラクティブセッションでは、データベースからのデータの取得と、更新方法を示しています。

```
>>> Movie('Star Wars').director
'George Lucas'
>>> jaws = Movie('Jaws')
>>> f'Released in {jaws.year} by {jaws.director}'
'Released in 1975 by Steven Spielberg'

>>> Song('Country Roads').artist
'John Denver'

>>> Movie('Star Wars').director = 'J.J. Abrams'
>>> Movie('Star Wars').director
'J.J. Abrams'
```

4 ピュア Python の等価実装

このプロトコルは単純ですが、ワクワクする可能性も秘めています。ユースケースの中には、あまりに一般的なので組み込みに追加されたものもあります。プロパティ、束縛のメソッド、静的メソッド、クラスメソッド、`__slots__` は、全てデスク립タプロトコルに基づいています。

4.1 プロパティ

`property()` を呼び出すことで、属性へアクセスすると関数の呼び出しを引き起こす、データデスク립タを簡潔に組み立てられます。シグネチャはこうです：

```
property(fget=None, fset=None, fdel=None, doc=None) -> property
```

このドキュメントでは、管理された属性 `x` を定義する典型的な使用法を示します：

```
class C:
    def getx(self): return self.__x
    def setx(self, value): self.__x = value
    def delx(self): del self.__x
    x = property(getx, setx, delx, "I'm the 'x' property.")
```

デスク립タの見地から `property()` がどのように実装されているかを見るために、等価な Python 版をここに挙げます：

```
class Property:
    "Emulate PyProperty_Type() in Objects/descrobject.c"

    def __init__(self, fget=None, fset=None, fdel=None, doc=None):
        self.fget = fget
        self.fset = fset
        self.fdel = fdel
        if doc is None and fget is not None:
```

(次のページに続く)


```

        doc = fget.__doc__
    self.__doc__ = doc
    self._name = ''

def __set_name__(self, owner, name):
    self._name = name

def __get__(self, obj, objtype=None):
    if obj is None:
        return self
    if self.fget is None:
        raise AttributeError(
            f'property {self._name!r} of {type(obj).__name__!r} object has no getter'
        )
    return self.fget(obj)

def __set__(self, obj, value):
    if self.fset is None:
        raise AttributeError(
            f'property {self._name!r} of {type(obj).__name__!r} object has no setter'
        )
    self.fset(obj, value)

def __delete__(self, obj):
    if self.fdel is None:
        raise AttributeError(
            f'property {self._name!r} of {type(obj).__name__!r} object has no deleter'
        )
    self.fdel(obj)

def getter(self, fget):
    prop = type(self)(fget, self.fset, self.fdel, self.__doc__)
    prop._name = self._name
    return prop

def setter(self, fset):
    prop = type(self)(self.fget, fset, self.fdel, self.__doc__)
    prop._name = self._name
    return prop

def deleter(self, fdel):
    prop = type(self)(self.fget, self.fset, fdel, self.__doc__)
    prop._name = self._name
    return prop

```

組み込みの `property()` 関数は、ユーザインターフェースへの属性アクセスが与えられ、続く変更がメソッドの介入を要求するときに役立ちます。

例えば、スプレッドシートクラスが、`Cell('b10').value` でセルの値を取得できるとします。続く改良により、プログラムがアクセスの度にセルの再計算をすることを要求しました。しかしプログラムは、その属性に直接アクセスする既存のクライアントコードに影響を与えたくありません。この解決策は、`property` データ

デスクリプタ内に値属性へのアクセスをラップすることです:

```
class Cell:
    ...

    @property
    def value(self):
        "Recalculate the cell before returning value"
        self.recalc()
        return self._value
```

組み込みの `property()` も、この `Property()` も、このサンプルの中で同じように利用できます。

4.2 関数とメソッド

Python のオブジェクト指向機能は、関数に基づく環境の上に構築されています。非データデスクリプタを使って、この 2 つはシームレスに組み合わせられています。

クラス辞書に格納された関数は、実行時にメソッドに変換されます。メソッドと通常の関数はオブジェクトのインスタンスが他の引数よりも前に渡される点だけが異なります。監修ではインスタンスは `self` という名前が使われますが、`this` や他の変数名も使えます。

メソッドは、ほぼ次のコードと同等な `types.MethodType` を使えば手動で作れます。

```
class MethodType:
    "Emulate PyMethod_Type in Objects/classobject.c"

    def __init__(self, func, obj):
        self.__func__ = func
        self.__self__ = obj

    def __call__(self, *args, **kwargs):
        func = self.__func__
        obj = self.__self__
        return func(obj, *args, **kwargs)
```

メソッドの自動作成をサポートするには、関数に対し、属性アクセスでメソッドの束縛に利用される `__get__()` メソッドを追加します。これはつまり、この関数はドットアクセスされたときに束縛されたメソッドを返す非データデスクリプタであることを意味します。次のように動作します。

```
class Function:
    ...

    def __get__(self, obj, objtype=None):
        "Simulate func_descr_get() in Objects/funcobject.c"
        if obj is None:
            return self
        return MethodType(self, obj)
```

次のクラスをインタプリタを起動すると、この関数デスクリプタが実際にどう働くかを見られます:

```
class D:
    def f(self, x):
        return x
```

この関数はイントロスペクションをサポートするために qualified name も持っています。

```
>>> D.f.__qualname__
'D.f'
```

クラス辞書を通じて関数にアクセスすると `__get__()` が実行されません。そのため、裏にある関数オブジェクトをそのまま返します。

```
>>> D.__dict__['f']
<function D.f at 0x00C45070>
```

クラスのドットアクセスは `__get__()` は呼び出しますが、これも裏にある関数を変更せずに返します。

```
>>> D.f
<function D.f at 0x00C45070>
```

インスタンスに対してドットアクセスをすると面白い動作をします。ドットのルックアップは、束縛メソッドオブジェクトを返す `__get__()` を呼び出します。

```
>>> d = D()
>>> d.f
<bound method D.f of <__main__.D object at 0x00B18C90>>
```

内部では、束縛メソッドはオリジナルの関数と束縛されたインスタンスを保持しています。

```
>>> d.f.__func__
<function D.f at 0x00C45070>

>>> d.f.__self__
<__main__.D object at 0x00B18C90>
```

もし、通常のメソッドの `self` や、クラスメソッドの `cls` がどこから来るの疑問に思っている人がいるとしたら、これがその答えになります！

4.3 メソッドの種類

非データデスクリプタは、関数をメソッドに束縛する、各種の一般的なパターンに、単純な機構を提供します。

まとめると、関数は `__get__()` メソッドを持ち、属性としてアクセスされたとき、メソッドに変換されます。この非データデスクリプタは、`obj.f(*args)` の呼び出しを `f(obj, *args)` に変換します。`cls.f(*args)` を呼び出すと `f(*args)` になります。

このチャートは、束縛と、その 2 つの異なる便利な形をまとめています：

変換	オブジェクトから呼び出される	クラスから呼び出される
関数	<code>f(obj, *args)</code>	<code>f(*args)</code>
静的メソッド	<code>f(*args)</code>	<code>f(*args)</code>
クラスメソッド	<code>f(type(obj), *args)</code>	<code>f(cls, *args)</code>

4.4 静的メソッド

静的メソッドは、下にある関数をそのまま返します。`c.f` や `C.f` は、`object.__getattr__`(`c`, "f") や `object.__getattr__`(`C`, "f") を直接探索するのと同じです。結果として、関数はオブジェクトとクラスから同じようにアクセスできます。

静的メソッドにすると良いのは、`self` 変数への参照を持たないメソッドです。

例えば、統計パッケージに、実験データのコンテナがあるとします。そのクラスは、平均、メジアン、その他の、データに依る記述統計を計算する標準メソッドを提供します。しかし、概念上は関係があっても、データには依らないような便利な関数もあります。例えば、`erf(x)` は統計上の便利な変換ルーチンですが、特定のデータセットに直接には依存しません。これは、オブジェクトからでもクラスからでも呼び出せます：`s.erf(1.5) --> .9332` または `Sample.erf(1.5) --> .9332`。

静的メソッドは下にある関数をそのまま返すので、呼び出しの例は面白くありません：

```
class E:
    @staticmethod
    def f(x):
        return x * 10
```

```
>>> E.f(3)
30
>>> E().f(3)
30
```

非データデスク립タプロトコルを使うと、pure Python 版の `staticmethod()` は以下のようになります：

```
import functools

class StaticMethod:
    "Emulate PyStaticMethod_Type() in Objects/funcobject.c"

    def __init__(self, f):
        self.f = f
        functools.update_wrapper(self, f)

    def __get__(self, obj, objtype=None):
        return self.f

    def __call__(self, *args, **kwds):
        return self.f(*args, **kwds)
```

`functools.update_wrapper()` の呼び出しは、根底にある関数を参照する `__wrapped__` 属性を追加します。また、ラッパーがそのラップされた関数のように見えるよう、必要な属性を追加します: `__name__`、`__qualname__`、`__doc__`、`__annotations__`。

4.5 クラスメソッド

静的メソッドとは違って、クラスメソッドは関数を呼び出す前にクラス参照を引数リストの先頭に加えます。このフォーマットは、呼び出し元がオブジェクトでもクラスでも同じです:

```
class F:
    @classmethod
    def f(cls, x):
        return cls.__name__, x
```

```
>>> F.f(3)
('F', 3)
>>> F().f(3)
('F', 3)
```

この振る舞いは、関数がクラス参照のみを必要とし、特定のインスタンスに保存されたデータに依存しないときに便利です。クラスメソッドの使い方の一つは、代わりにクラスコンストラクタを作ることです。例えば、クラスメソッド `dict.fromkeys()` は新しい辞書をキーのリストから生成します。等価な pure Python 版は:

```
class Dict(dict):
    @classmethod
    def fromkeys(cls, iterable, value=None):
        "Emulate dict_fromkeys() in Objects/dictobject.c"
        d = cls()
        for key in iterable:
            d[key] = value
        return d
```

これで一意なキーを持つ新しい辞書が以下のように構成できます:

```
>>> d = Dict.fromkeys('abracadabra')
>>> type(d) is Dict
True
>>> d
{'a': None, 'b': None, 'r': None, 'c': None, 'd': None}
```

非データデスク립タプロトコルを使った、`classmethod()` の pure Python 版はこのようになります:

```
import functools

class ClassMethod:
    "Emulate PyClassMethod_Type() in Objects/funcobject.c"

    def __init__(self, f):
```

(次のページに続く)

```

self.f = f
functools.update_wrapper(self, f)

def __get__(self, obj, cls=None):
    if cls is None:
        cls = type(obj)
    if hasattr(type(self.f), '__get__'):
        # This code path was added in Python 3.9
        # and was deprecated in Python 3.11.
        return self.f.__get__(cls, cls)
    return MethodType(self.f, cls)

```

The code path for `hasattr(type(self.f), '__get__')` was added in Python 3.9 and makes it possible for `classmethod()` to support chained decorators. For example, a classmethod and property could be chained together. In Python 3.11, this functionality was deprecated.

```

class G:
    @classmethod
    @property
    def __doc__(cls):
        return f'A doc for {cls.__name__}!'

```

```

>>> G.__doc__
"A doc for 'G'"

```

`ClassMethod` 内の `functools.update_wrapper()` の呼び出しは、根底にある関数を参照する `__wrapped__` 属性を追加します。また、ラッパーがそのラップされた関数のように見えるよう、必要な属性を追加します: `__name__`、`__qualname__`、`__doc__`、`__annotations__`。

4.6 メンバーオブジェクトと `__slots__`

クラスが `__slots__` を定義すると、インスタンスの辞書が固定超のスロットの値の配列と置き換えられます。ユーザーの目線からみると、いくつかの変化があります。

1. Provides immediate detection of bugs due to misspelled attribute assignments. Only attribute names specified in `__slots__` are allowed:

```

class Vehicle:
    __slots__ = ('id_number', 'make', 'model')

```

```

>>> auto = Vehicle()
>>> auto.id_nubmer = 'VYE483814LQEX'
Traceback (most recent call last):
...
AttributeError: 'Vehicle' object has no attribute 'id_nubmer'

```

2. Helps create immutable objects where descriptors manage access to private attributes stored in

`__slots__:`

```
class Immutable:

    __slots__ = ('_dept', '_name')           # Replace the instance dictionary

    def __init__(self, dept, name):
        self._dept = dept                   # Store to private attribute
        self._name = name                   # Store to private attribute

    @property                               # Read-only descriptor
    def dept(self):
        return self._dept

    @property                               # Read-only descriptor
    def name(self):
        return self._name
```

```
>>> mark = Immutable('Botany', 'Mark Watney')
>>> mark.dept
'Botany'
>>> mark.dept = 'Space Pirate'
Traceback (most recent call last):
...
AttributeError: property 'dept' of 'Immutable' object has no setter
>>> mark.location = 'Mars'
Traceback (most recent call last):
...
AttributeError: 'Immutable' object has no attribute 'location'
```

3. Saves memory. On a 64-bit Linux build, an instance with two attributes takes 48 bytes with `__slots__` and 152 bytes without. This [flyweight design pattern](#) likely only matters when a large number of instances are going to be created.

4. Improves speed. Reading instance variables is 35% faster with `__slots__` (as measured with Python 3.10 on an Apple M1 processor).

5. Blocks tools like `functools.cached_property()` which require an instance dictionary to function correctly:

```
from functools import cached_property

class CP:
    __slots__ = ()                       # Eliminates the instance dict

    @cached_property                     # Requires an instance dict
    def pi(self):
        return 4 * sum((-1.0)**n / (2.0*n + 1.0)
                        for n in reversed(range(100_000)))
```

```
>>> CP().pi
Traceback (most recent call last):
...
TypeError: No '__dict__' attribute on 'CP' instance to cache 'pi' property.
```

`__slots__` は C 構造体に直接アクセスし、オブジェクトのメモリ確保を制御する必要があるため、ピュア Python バージョンを作成することはできません。しかし、プライベートの `__slotvalues` リストを使って C 構造体のスロットをほぼ忠実にエミュレートすることはできます。そのプライベートな構造体への読み書きはメンバーのデスクリプタによって管理されます。

```
null = object()

class Member:

    def __init__(self, name, clsname, offset):
        'Emulate PyMemberDef in Include/structmember.h'
        # Also see descr_new() in Objects/descrobject.c
        self.name = name
        self.clsname = clsname
        self.offset = offset

    def __get__(self, obj, objtype=None):
        'Emulate member_get() in Objects/descrobject.c'
        # Also see PyMember_GetOne() in Python/structmember.c
        if obj is None:
            return self
        value = obj._slotvalues[self.offset]
        if value is null:
            raise AttributeError(self.name)
        return value

    def __set__(self, obj, value):
        'Emulate member_set() in Objects/descrobject.c'
        obj._slotvalues[self.offset] = value

    def __delete__(self, obj):
        'Emulate member_delete() in Objects/descrobject.c'
        value = obj._slotvalues[self.offset]
        if value is null:
            raise AttributeError(self.name)
        obj._slotvalues[self.offset] = null

    def __repr__(self):
        'Emulate member_repr() in Objects/descrobject.c'
        return f'<Member {self.name!r} of {self.clsname!r}>'
```

`type.__new__()` メソッドはクラス変数へのメンバーオブジェクトの追加を処理します。

```
class Type(type):
    'Simulate how the type metaclass adds member objects for slots'
```

(次のページに続く)


```
def __new__(mcls, clsname, bases, mapping, **kwargs):
    'Emulate type_new() in Objects/typeobject.c'
    # type_new() calls PyTypeReady() which calls add_methods()
    slot_names = mapping.get('slot_names', [])
    for offset, name in enumerate(slot_names):
        mapping[name] = Member(name, clsname, offset)
    return type.__new__(mcls, clsname, bases, mapping, **kwargs)
```

object.__new__() メソッドはインスタンス辞書の代わりにスロットを持つインスタンスの作成の処理をします。おおざっぱにピュア Python でのシミュレーションしたコードがこちらです。

```
class Object:
    'Simulate how object.__new__() allocates memory for __slots__'

    def __new__(cls, *args, **kwargs):
        'Emulate object_new() in Objects/typeobject.c'
        inst = super().__new__(cls)
        if hasattr(cls, 'slot_names'):
            empty_slots = [null] * len(cls.slot_names)
            object.__setattr__(inst, '_slotvalues', empty_slots)
        return inst

    def __setattr__(self, name, value):
        'Emulate _PyObject_GenericSetAttrWithDict() Objects/object.c'
        cls = type(self)
        if hasattr(cls, 'slot_names') and name not in cls.slot_names:
            raise AttributeError(
                f'{cls.__name__!r} object has no attribute {name!r}'
            )
        super().__setattr__(name, value)

    def __delattr__(self, name):
        'Emulate _PyObject_GenericSetAttrWithDict() Objects/object.c'
        cls = type(self)
        if hasattr(cls, 'slot_names') and name not in cls.slot_names:
            raise AttributeError(
                f'{cls.__name__!r} object has no attribute {name!r}'
            )
        super().__delattr__(name)
```

実際のクラスでシミュレーションコードを利用するには、Object を継承し、metaclass を Type にします。

```
class H(Object, metaclass=Type):
    'Instance variables stored in slots'

    slot_names = ['x', 'y']

    def __init__(self, x, y):
        self.x = x
        self.y = y
```

この時点ではメタクラスは x と y のメンバーオブジェクトをロードします。

```
>>> from pprint import pp
>>> pp(dict(vars(H)))
{'__module__': '__main__',
 '__doc__': 'Instance variables stored in slots',
 'slot_names': ['x', 'y'],
 '__init__': <function H.__init__ at 0x7fb5d302f9d0>,
 'x': <Member 'x' of 'H'>,
 'y': <Member 'y' of 'H'>}
```

インスタンスが作成されると、属性が保持される `slot_values` のリストをインスタンスが保持します:

```
>>> h = H(10, 20)
>>> vars(h)
{'_slotvalues': [10, 20]}
>>> h.x = 55
>>> vars(h)
{'_slotvalues': [55, 20]}
```

スペルミスや、未アサインの属性は例外を送出します。

```
>>> h.xz
Traceback (most recent call last):
...
AttributeError: 'H' object has no attribute 'xz'
```