明日から graphlib、みんなで使おう

Hayao Suzuki

PyCon JP 2025 at International Conference Center Hiroshima

September 26, 2025

Share it

GitHub

- `https://github.com/HayaoSuzuki/pyconjp2025`

Hashtag

- #pyconjp #PyConJP2025

Who am I ?

お前誰よ

Name Hayao Suzuki（鈴木　駿）

~~Twitter~~ X @CardinalXaro

Work ソフトウェアエンジニア at 東京ガス株式会社

東京ガス株式会社について

- 一都六県に都市ガス・電気などのエネルギーを供給する会社
- 東京ガスは PyCon JP 2025 の Gold スポンサーです
- ソフトウェアエンジニアを絶賛募集中
  https://www.tokyo-gas-recruit.com/career/

Who am I ?

翻訳

- Effective Python 第 3 版 (O'Reilly Japan) New!
- ハイパーモダン Python(O'Reilly Japan)
- Python Distilled(O'Reilly Japan)

監訳・監修

- ロバスト Python(O'Reilly Japan)
- 入門 Python 3 第 2 版 (O'Reilly Japan)
- Python クイックリファレンス 第 4 版 (O'Reilly Japan)

Who am I ?

過去の発表（抜粋）

- Let’s implement useless Python objects(PyCon APAC 2023)
- 組み込み関数 pow の知られざる進化 (PyCon JP 2021)
- インメモリーストリーム活用術 (PyCon JP 2020)
- 君は cmath を知っているか (PyCon mini Shizuoka 2020)
- Python と楽しむ初等整数論 (PyCon mini Hiroshima 2019)
- SymPy による数式処理 (PyCon JP 2018)

一覧は `https://xaro.hatenablog.jp/` を参照してください

Today's Theme

明日から `graphlib`、みんなで使おう

Executive Summary

忙しい人向けの要約

- トポロジカルソートとは、有向非巡回グラフの頂点集合の線型順序である
- `graphlib` は、トポロジカルソートが実装された標準ライブラリである
- `graphlib` は、簡易的なタスクランナーとして使える

グラフって、何？

定義（無向グラフ）

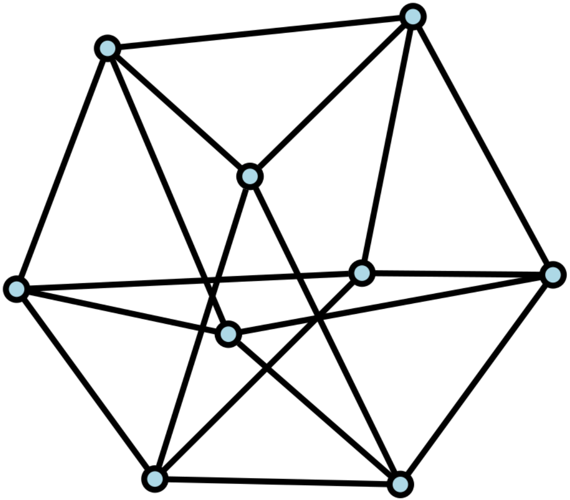
有限集合 V および $V \times V$ の非順序対からなる集合の部分集合 E の組 $G = (V, E)$ を無向グラフと呼ぶ。

定義（有向グラフ）

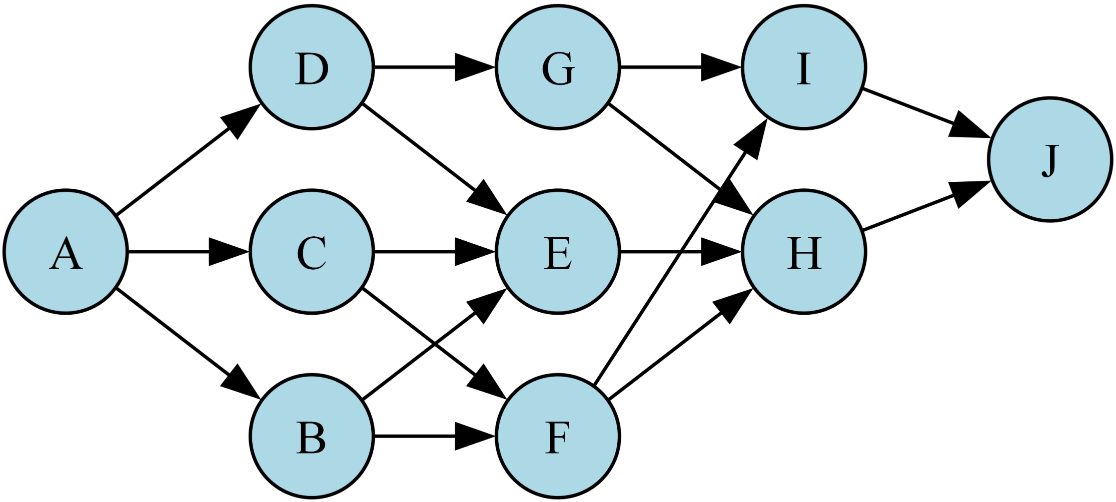
有限集合 V および $V \times V$ の順序対からなる集合の部分集合 E の組 $G = (V, E)$ を有向グラフと呼ぶ。

- V を頂点集合、E を辺集合と呼ぶ。
- V の要素を G の頂点、E の要素を G の辺と呼ぶ。

無向グラフの例



有向グラフの例



…で、そのグラフは当社で働くうえで何のメリットがあるとお考えですか？

来いよベネット！　定義なんか捨ててかかって来い！

忙しい人向けのグラフ

- グラフとは、「もの」とその「関係」を数学的にモデル化したものである
- 「もの」は人間、駅、タスク、サーバなど
- 「関係」は人間関係、線路、依存関係、ネットワークなど

トポロジカルソートって、何？

定義（二項関係）

集合 A の直積 $A \times A$ の部分集合 R を二項関係と呼ぶ。
また、$(a, b) \in R$ を aRb と表す。

定義（半順序関係）

以下の性質を満たす関係 R を半順序関係と呼ぶ。

- 反射律 $\forall a \in A$ に対して、aRa である
- 反対称律 $a, b \in A$ に対して、aRb かつ bRa ならば $a = b$ である
- 推移律 $a, b, c \in A$ に対して、aRb かつ bRc ならば aRc である

半順序関係は、大小関係や比較の概念を抽象したもの。

トポロジカルソートって、何？

定義（線型順序）

集合 A の半順序関係 R において、$\forall a, b \in A$ に対して aRb または bRa が成り立つならば、R は線型順序であると呼ぶ。

定義（トポロジカルソート）

有向グラフ $G = (V, E)$ のトポロジカルソートとは、V の線型順序 $(V, \leq)$ で、$(u, v) \in E$ ならば $u \leq v$ を満たすものである。

トポロジカルソートって、何？

定義（歩道）

グラフ $G = (V, E)$ の頂点 u_1 から u_k への長さ k の**歩道** W とは、頂点の列 $(u_1, u_2, \ldots, u_k)$ で、$(u_i, u_j) \in E(1 \leq i < j \leq k)$ を満たすものである。特に、$u_1 = u_k$ の場合、W **閉じている**と呼ぶ。

定義（道）

グラフ $G = (V, E)$ の歩道 W において、頂点および辺がすべて異なるものは**道**と呼ぶ。特に、閉じた道を**閉路**と言う。

定義（有向非巡回グラフ）

有向グラフ $G = (V, E)$ において、閉路を含まないものを**有向非巡回グラフ**と呼ぶ。

トポロジカルソートって、何？

命題（トポロジカルソート可能）

有向グラフ G がトポロジカルソート可能であるための必要十分条件は、
有向グラフ G が有向非巡回グラフであることである。

楽しい証明コーナー

トポロジカルソート可能 $\Rightarrow$ 有向非巡回グラフ.

トポロジカルソート可能だがグラフ G に閉路が存在すると仮定する。
その閉路を $v_i, v_j, v_k (i < j < k)$ として、かつ $v_i \leq v_j \leq v_k$ とする。
$v_i, v_j, v_k (i < j < k)$ は閉路なので、v_k から v_i への辺が存在する。
つまり、$v_k \leq v_i$ となるが、それは仮定 $v_i \leq v_j \leq v_k$ に矛盾する。 □

まだまだ続くぞ楽しい証明コーナー

補題

有向非巡回グラフには入次数 0 の頂点が必ず存在する。

証明.

有向非巡回グラフの最長の道 $v_1, \ldots, v_k$ を 1 つ選ぶ。v_1 に入る辺が存在するならば、$u, v_1, \ldots, v_k$ かつ $(u, v_1) \in E$ のような頂点 u が存在することになるが、$v_1, \ldots, v_k$ が最長の道であるという仮定に反する。よって、v_1 の入次数は 0 となり、有向非巡回グラフには入次数 0 の頂点が必ず存在する。 $\square$

補題

有向非巡回グラフ G の部分グラフ H もまた有向非巡回グラフである。

証明.

部分グラフ H が有向非巡回グラフではないと仮定する。H の閉路を C とした場合、H は G の部分グラフなので、閉路 C は G にも存在することになる。しかし、それは G が有向非巡回グラフであるという仮定に反する。 $\square$

楽しいよな！ 証明コーナー

有向非巡回グラフ $\Rightarrow$ トポロジカルソート可能.

有向非巡回グラフ G には必ず入次数 0 の頂点が必ず存在するので、その頂点およびそこから出る辺を取り除く。取り除いたグラフもまた有向非巡回グラフなので、頂点がなくなるまでそれを繰り返す。取り除いた順番に頂点を並べたものがトポロジカルソートである。 $\square$

重要：証明がアルゴリズムになっていることに注意。

離散数学の講義ではなく、
PyCon JP ですよ

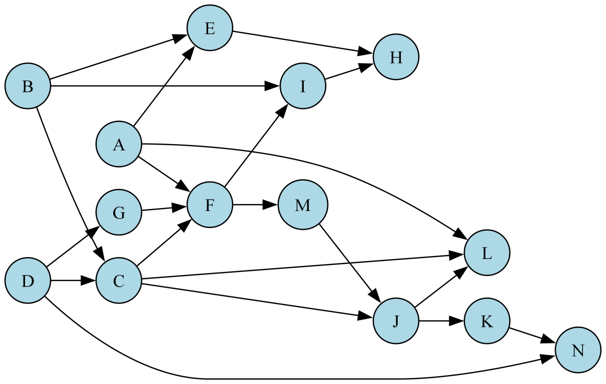
来いよベネット！　証明なんか捨てて（ｒｙ

忙しい人向けのトポロジカルソート

- 半順序関係は、大小関係や包含関係を抽象化したもの
- 線型順序は、どれでも比較できるやつ、ぐらいの理解で
- トポロジカルソートは、有向グラフの頂点をいい感じに順序付けしたもの
- トポロジカルソートと有向非巡回グラフは表裏一体
- トポロジカルソートに関する証明がアルゴリズムになっている

トポロジカルソートの使い道とは

Q: 頂点をタスク、辺をタスクの依存関係とする。どの順番でタスクを実行すればよいか？



トポロジカルソートの使い道とは

Ans: グラフをトポロジカルソートして、その順番にやればよい。

A → B → D → E → C → G → F → I → M → H → J → K → L → N

どうやったの？

すでに graphlib、僕は使ったよ

真打登場

`graphlib`：グラフ構造を操作する機能

- 現在は `TopologicalSorter` のみ、単純な標準ライブラリ
- Python 3.9 で追加
- `https://github.com/python/cpython/issues/61207` で議論されていた。

graphlib の使い方

トポロジカルソートの実行

```python
from graphlib import TopologicalSorter

graph = {
    "D": {"B", "C"},
    "C": {"A"},
    "B": {"A"},
}
order = TopologicalSorter(graph).static_order()
print(f"Topological order: {" → ".join(order)}")
# A → C → B → D
```

D←B，D←C のようなイメージで定義する。

graphlib の使い方

有向非巡回グラフではないケース

```
from graphlib import TopologicalSorter

graph = {
    "A": {"C"},
    "B": {"A"},
    "C": {"B"}
}
order = TopologicalSorter(graph).static_order()
print(f"Topological order: {" → ".join(order)}")
# graphlib.CycleError が発生する
```

より高度な使い方

`graphlib`：依存関係のあるタスクを実行するタスクランナー

- 並列実行しやすいアルゴリズム
- ドキュメントにそれとなく触れられているが、不十分...。
- 生成 AI の力を借りてそれとなく作ってみよう！

タスクの定義

dataclass によるタスク定義

```
@dataclass(frozen=True, slots=True)
class Task:
    name: str
    action: Action
    deps: set[str] = field(default_factory=set)
```

頂点はハッシュ可能である必要があるので、`frozen=True` を使う。

タスクランナー

グラフの定義

```
def run(tasks, max_workers=None):
    by_name = {t.name: t for t in tasks}
    ts = TopologicalSorter({t.name: set(t.deps) for t in
    ts.prepare()
    results: dict[str, object] = {}
    ...
```

タスクランナー

並行処理：スレッドに投入

```
def run(tasks, max_workers=None):
    ...
    with ThreadPoolExecutor(max_workers) as pool:
        while ts.is_active():
            ready = ts.get_ready()
            futs = {}
            for name in ready:
                print(f"run  {name}")
                futs[pool.submit(by_name[name].action)]
                ...
```

タスクランナー

並行処理：完了待ち

```python
def run(tasks, max_workers=None):
    ...
    with ThreadPoolExecutor(max_workers) as pool:
        while ts.is_active():
            ...
            for fut in as_completed(futs):
                name = futs[fut]
                results[name] = fut.result()
                print(f"done {name}")
                ts.done(name)
    return results
```

まとめ

まとめ

- トポロジカルソートとは、有向非巡回グラフの頂点集合の線型順序である。
- 有向グラフ G がトポロジカルソート可能であるための必要十分条件は、有向グラフ G が有向非巡回グラフであることである。
- `graphlib` は、トポロジカルソートが実装された標準ライブラリである。
- `graphlib` は、簡易的なタスクランナーを実装する際に、実行順序を決定する仕組みとして使える。