NRI 未来創発
Dream up the future.

まだらの紐の真相を追って
～人工知能学会　推論チャレンジ問題～

2018年11月25日

株式会社野村総合研究所
田村 光太郎　外園 康智

〒100-0004
東京都千代田区大手町1-9-2 大手町フィナンシャルシティ グランキューブ

Share the Next Values!

1. 推論・推理過程の説明

■目次

A) アプローチの特徴と結論

B) 解決アプローチ（手法とプログラム）

① オントロジーデータから、SPARQLで、主語述語目的語のRDFデータを抽出

② RDF→テンソルデータに変換

③ テンソルデータに対して、タッカー分解で、知識補完

④ テンソルデータに対して、推論規則を抽出、抽出した規則を使って、知識補完

⑤ CCG2lambdaにて、外部知識（日本語文）を述語論理式に変換

⑥ Alloyで3つの場面を設定。

1. 形式手法Alloyの記述方法と知識の与え方
2. 場面の区切りと設定
3. 記述の内容
4. 場面1:「ジュリア殺害の日」とAlloyによる結果
5. 場面2:「ヘレン殺害未遂の日」とAlloyによる結果
6. 場面3:「事件の真相の様相」とAlloyによる結果

C) まとめ

NRI Copyright（C） Nomura Research Institute, Ltd. All rights reserved.

A）アプローチの特徴と結論

アプローチの特徴

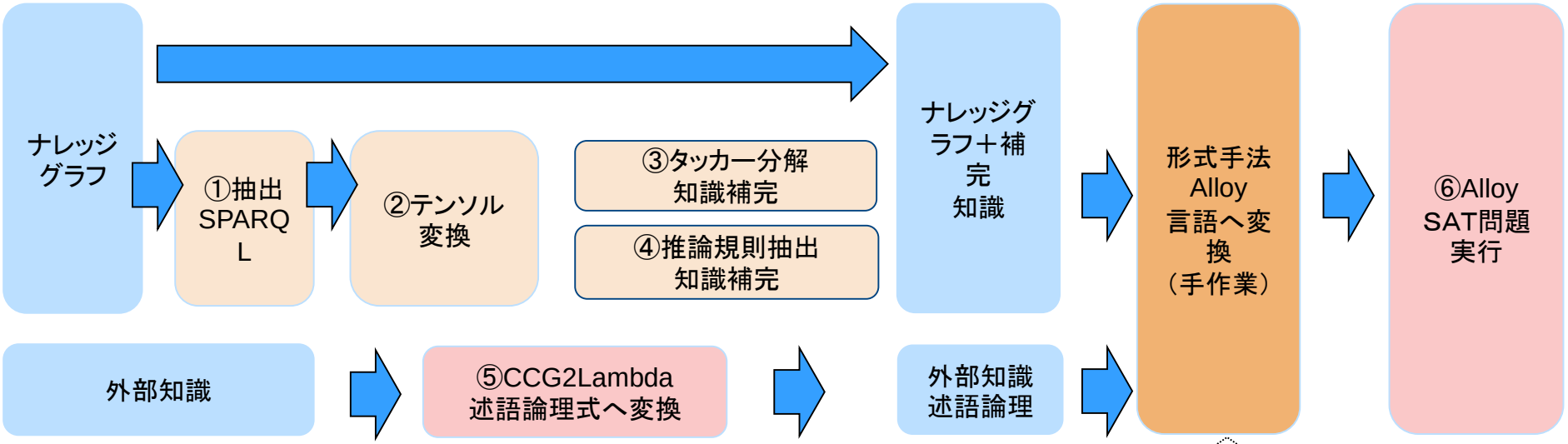
- 犯行状況を設定し、ナレッジグラフ（場面番号368番以下）＋外部知識を束縛条件に、述語論理式の充足可能問題として、真相を導く。
- テンソル分析で、知識補完を試みる。
- 物語の階層構造の視点を考慮する。

結論

- 一連の事件（ジュリア殺害、ヘレン殺害未遂）は、ロイロットが犯人。
- 一部事件（ロイロット殺害）は、ヘレンが犯人とも推察されるが、証拠不十分。

NRI Copyright（C） Nomura Research Institute, Ltd. All rights reserved.

B)アプローチ(プロセスとプログラム)



■ 解決のプロセス

①ナレッジグラフから、SPARQLで、主語述語目的語(SVO)のRDFデータを作成

②RDFトリプルデータから、3次元テンソルデータ形式に変換

③テンソルデータに対して、タッカー分解による知識補完

④テンソルデータに対して、推論規則を抽出、抽出した規則を使って、知識補完

⑤CCG2Lambdaにて、外部知識を論理式に変換

⑥ALLOYで3つの状況を設定。

場面1: ジュリア殺害の日

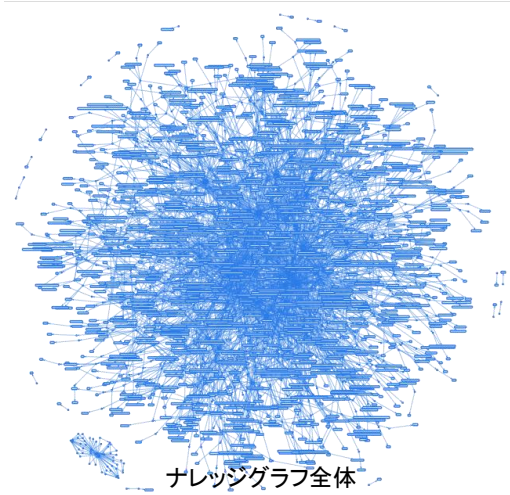
場面2: ヘレン殺害未遂の日

場面3: 殺人事件の真相の様相

Copyright(C) Nomura Research Institute, Ltd. All rights reserved.

①オントロジーデータから、SPARQLで、主語述語目的語のRDFデータを抽出

- 手順の目的
  - 関係性解析をテンソル形式で行うため、ナレッジグラフを変換する。
- 手順の概要
  - 以下のSPARQLファイルで、主語述語目的語、場所FROM、場所TO、時間、理由　データを抽出



ナレッジグラフ全体
http://knowledge-graph.jp/visualization/

```
PREFIX rdfs: <http://www.w3.org/2000/01/rdf-schema#>
PREFIX kgc: <http://kgc.knowledge-graph.jp/ontology/kgc.owl#>
PREFIX kd: <http://kgc.knowledge-graph.jp/data/SpeckledBand/>
SELECT ?id ?s ?p ?o ?o1 ?o2 ?o3 ?o4 ?o5
WHERE {
    ?id kgc:subject ?s.
   OPTIONAL {?id kgc:hasProperty ?o .} .
   OPTIONAL {?id kgc:hasPredicate ?o .} .
    OPTIONAL {?id kgc:what ?o1 .} .
    OPTIONAL {?id kgc:whom ?o1 .} .
    OPTIONAL {?id kgc:to ?o1 .} .
    OPTIONAL {?id kgc:where ?o1 .} .
    OPTIONAL {?id kgc:on ?o1 .} .
      OPTIONAL {?id kgc:from ?o2 .} .
       OPTIONAL {?id kgc:when ?o3 .} .
        OPTIONAL {?id kgc:time ?o4 .} .
         OPTIONAL {?id kgc:why ?o5 .} .
}
order by (?id)
```

場面	述語	主語	対象	場所	起点	終点	時間	何	理由	どうして
1	come	Helen	NA	NA	NA	house of Holmes	NA	NA	NA	NA
2	beScared	Helen	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
3	beUpset	Helen	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
4	notHave	Helen	NA	NA	NA	NA	NA	money	NA	NA
5	getMarried	Helen	NA	NA	NA	NA	within 2 months	NA	NA	NA
6	obtain	Helen	NA	NA	NA	NA	within 2 months	money	NA	NA
7	pay	Helen	Holmes	NA	NA	NA	NA	money	reward of request	NA
8	live	Helen	NA	mansion of Roylott	NA	NA	NA	NA	NA	NA

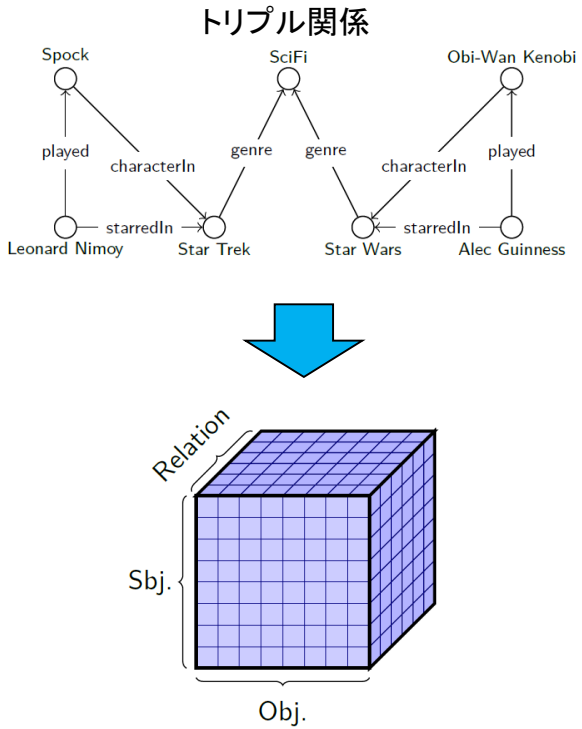
Copyright（C）Nomura Research Institute, Ltd. All rights reserved.

②RDF→テンソルデータに変換

■ 手順の目的
- SVOOまたはSVOとして書き表された、RDFトリプルをテンソルに変換する。

■ 手順の概要
- 前項抽出されたデータをSVO形式（SVO_1O_2はSVO_1とSVO_2）に変換し、テンソル形式にする。
- 疎テンソルであるため隣接リスト表現を利用した。

主語	述語	目的語（補助）
Crown_Inn	exist	exist
Crown_Inn	be	hotel
Helen	beScared	bedroom_of_Julia
Helen	beScared	exist
Helen	beUpset	exist
Helen	call	Roylott
Helen	cannotFind	objects
Helen	change	clothes
Helen	come	house_of_Holmes
Helen	come	Leatherhead_station
Helen	come	bedroom_of_Julia
Helen	exist	bedroom_of_Julia
Helen	getMarried	exist
Helen	go	Crown_Inn
Helen	go	Leatherhead_station
Helen	go	Stoke_Moran
Helen	go	bedroom_of_Helen
Helen	go	bedroom_of_Julia
Helen	have	two-wheeled_coach



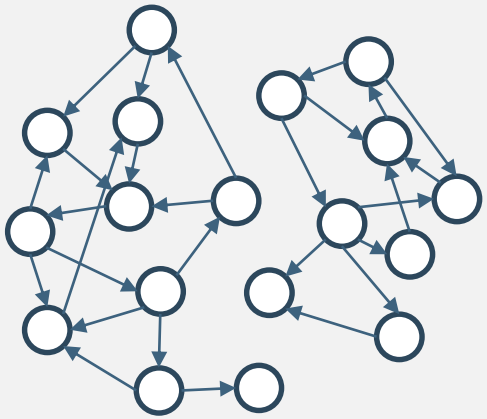
Copyright（C）Nomura Research Institute, Ltd. All rights reserved.

③、④テンソル解析を利用した知識補完の考え方

■ 与えられたナレッジグラフから知識を補完・抽出する
- 不完全なナレッジグラフに対して、連結性を高めるために欠損リンクの補完
- ナレッジグラフ上の探索で未知の規則の抽出

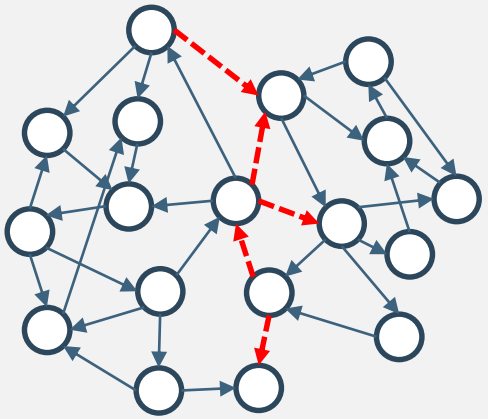
②ナレッジグラフ（テンソル）

トリプル化されたナレッジグラフ



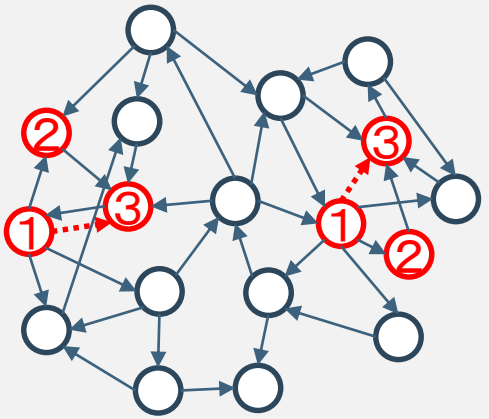
③Tucker分解による知識補完

途切れている知識関係を補完する



④探索による推論規則抽出

連鎖する関係から推論規則（同様の関係なら起こる確率が高い）を抽出



※改善中

Copyright（C）Nomura Research Institute, Ltd. All rights reserved.

③テンソルデータに対して、タッカー分解で、知識補完

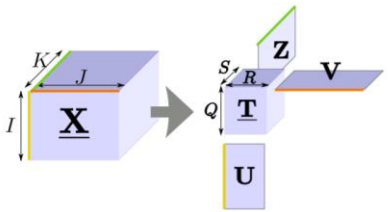
■ 手順の目的
- ナレッジグラフから推測される尤もらしい事実（知識）を数理的手法により抽出する。
- 知識補完を行うことで、外部知識の補完の補助ができるかの検証。

■ 手順の概要
- テンソルデータの欠損補完の主な方法であるテンソル分解→再計算でテンソルを補完する。

■ タッカー分解
- 3次元のテンソルXをコアテンソルTと因子行列U,V,Zに分解する。
- 分解後のコアテンソルTと因子行列U,V,Zで、もとのテンソルを再計算する。
- コアテンソルTと因子行列U,V,Zから、与えられたテンソルデータに対して、モデル（尤度を最大）となるテンソルが得られる。

Tucker 分解 [Tucker 1966]

$\underline{\mathbf{X}}$ をコアテンソル $\underline{\mathbf{T}}$ と因子行列 $\mathbf{U}, \mathbf{V}, \mathbf{Z}$ に分解



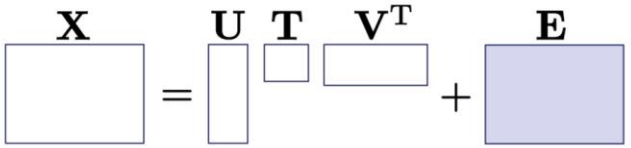
$$x_{ijk} \simeq \sum_{q=1}^{Q} \sum_{r=1}^{R} \sum_{s=1}^{S} t_{qrs} u_{iq} v_{jr} z_{ks}$$

- $\mathbf{U}, \mathbf{V}, \mathbf{Z}$: 各モードの基底
- $\underline{\mathbf{T}}$: 座標

$\underline{\mathbf{T}}$ が超対角のとき PARAFAC と一致

Tucker 分解の確率的解釈

簡単のため 2 次のテンソル (=行列) の場合を考える



- $E_{ij} \sim N(0, \sigma^2)$: 観測ノイズ

このモデルの対数尤度は Tucker 分解の目的関数と等価

$$\ln p(\mathbf{X} \mid \mathbf{U}, \mathbf{V}, \mathbf{T}) = \frac{1}{2\sigma^2} ||\mathbf{X} - \mathbf{Y}||_{\mathrm{Fro}}^2 + \text{const.}$$

where $\mathbf{Y} = \mathbf{U}\mathbf{T}\mathbf{V}^{\top}$

- $\mathbf{Y}$: $\mathbf{X}$ の背後にある真の行列

Copyright（C）Nomura Research Institute, Ltd. All rights reserved.

③テンソルデータに対して、タッカー分解で、知識補完

■ テンソルの補完のための計算の条件

計算量が大きいためデータに制限を設けた

- Subjectが人物、動物の場合に絞ったテンソルを作成し、Tucker分解
- 18（人物と動物）×146（動作）× 18（人物と動物）のテンソル
  - 機械的に取り出したので、同一人物を指す単語が含まれている。
  - Animalという項目をLeopard, baboon, mouse, cat

知識補完のために設定したパラメータ

- Tucker分解：コアテンソル（3×15×3）を使って、復元
- 複数回繰り返し、復元されたテンソルで、要素が成分1（>0.5）として復元された部分を補完とみなした
- 補完された知識を初期テンソルに加えて、Tucker分解→知識補完を繰り返した

対象の登場主体
Helen
Holmes
Julia
Leopard
Roma
Roylott
Watson
baboon
cat
coroner
craftsman
father-in-law
housekeeper
man
mouse
sister
suspect
Animal

Copyright（C）Nomura Research Institute, Ltd. All rights reserved.

③テンソルデータに対して、タッカー分解で、知識補完

■ Tucker分解に利用したPythonスクリプト

● Tucker.py : http://yamaguchiyuto.hatenablog.com/entry/2016/11/30/080000

```
import pandas as pd
import matplotlib.pyplot as plt
from Tucker import Tucker

tens = pd.read_table('tensor_focused.dat',header=None,sep=' ')
arr = [[[0 for i in range(18)] for j in range(147)] for k in range(18)]
arr = {}

for i in range(18):
    for j in range(147):
        for k in range(18):
            arr[(i,j,k)]=0
for i in range(len(tens)):
    arr[(tens[0][i],tens[1][i],tens[2][i])]=1

model = Tucker(R=3,S=15,T=3,max_iter=10)

model.fit(arr)
print("END")
residual=0
count=0
for i in arr:
    residual += abs(arr[i]-model.predict(i))
    count += 1
print(residual/count)

plt.plot(model._losses)
plt.ylabel('Loss')
plt.xlabel('# iters')
plt.title('Tucker')
plt.show()
for i in arr:
    a = model.predict(i)
    if arr[i] == 0 and a > 0.1 :
        print(i,a,arr[i])
```

ライブラリのインポート
※上記のTucker.pyを3行目で読み込んでいる

テンソルの読み込み
tensor_focused.datと名前をつけたファイルを読み込み、arrの要素に代入する。

3×15×3のコアテンソルを作るように分解する。
繰り返し計算での収束性を見るために

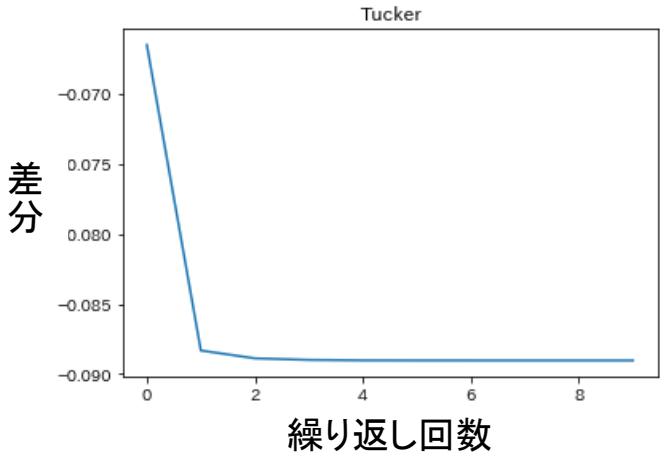
分解したコアテンソルと因子行列を用いて計算し、もとのテンソルと成分を比較し、補完されている要素（知識）を抽出する。

Copyright（C）Nomura Research Institute, Ltd. All rights reserved.

③テンソルデータに対して、タッカー分解で、知識補完

■ 計算の妥当性

- 与えたコアテンソルの大きさ（3×15×3）、繰り返し回数（10回）
- 各繰り返し計算でのコアテンソルの変化の収束性については、
  10数回程度で十分小さく、収束にいたっていると考えられる。
  （※n回目とn-1回目のコアテンソルの要素の差分）
- 疎テンソルのため、あまりアルゴリズムが順応していないのか差分が比較的多く残る。



■ 補完された知識（※場面は367番までの情報。）

- 行列が低ランク（同じ行や列ができやすいように）になるように補完される傾向がある。
  - 行動が似ている人（ワトソン、ホームズ）同士の間で、片方しか行っていない行動があるとき、他方にその行動をしたかのような補完がなされた
- 補完された知識のなかには解釈が困難なものもあるが、Juliaに対して、Animalが何らかの行為を行ったことが多数出る。

- 補完された知識
  - Homes See Animal
  - Watson Hit Animal
  - Watson Put Animal
  - Homes Go Roylott
- 以下、成分0.3程度だがでてきたこと
  - Helen bite Julia
  - Animal Call Julia
  - Animal Meet Julia
  - Animal Support Roylott
  - etc

Copyright（C）Nomura Research Institute, Ltd. All rights reserved.

④テンソルデータに対して、推論規則を抽出、抽出した規則を使って、知識補完（改善中）

■ 手順の目的
- 補完されたテンソルデータをもとにして、推論規則の抽出（さらなる知識の補完）を行うことでテンソルを密にする。

■ 手順の概要
- 先述の補完されたテンソルをもとに、幅優先探索を用いて、テンソルネットワークの2リンク関係、3リンク関係、～を抽出する。

■ 推論規則
- 推論規則であるためにPerson、Objectsなどのラベルで表す。
  - 例　　：　Person Call Person、Person Pull Objectsなど
  - 例（右下）：　a→cまでのパス全てを列挙し、パスの有意性を閾値を持って確かめる
- 数が少ないのと時間を考慮することが難しい
- 物語中、1回しかでてこない関係を規則としてしまう

推論規則の抽出 [YYH+14]

- 推論規則

  $bornInCity(a, b) \wedge cityOfCountry(b, c) \Rightarrow nationality(a, c)$

  - 新しい Fact の生成
  - 知識グラフのコンパクトな格納
  - 高度な推論システム

- 長さ k の規則を抽出 (実験では $k = 2, 3$ に限定)
  - Relation r に対し，$\mathcal{X}_r$ と $\mathcal{Y}_r$ を Subject，Object 候補の集合
  - 開始 Relation 集合 $\mathcal{S} = \{s : \mathcal{X}_s \cap \mathcal{X}_r \neq \emptyset\}$
  - 終端 Relation 集合 $\mathcal{O} = \{t : \mathcal{Y}_t \cap \mathcal{Y}_r \neq \emptyset\}$
  - $\mathcal{S}$ と $\mathcal{O}$ から可能な Relation path $r_1, \ldots, r_k$ を列挙
  - $\mathbf{y}_a^{\mathrm{T}} \mathbf{W}_{r_1} \approx \mathbf{y}_b$ 及び $\mathbf{y}_b^{\mathrm{T}} \mathbf{W}_{r_2} \approx \mathbf{y}_c$ から $\mathbf{y}_a^{\mathrm{T}} \mathbf{W}_{r_1} \mathbf{W}_{r_2} \approx \mathbf{y}_c$

  $$dist(\mathbf{W}_r, \mathbf{W}_{r_1} \ldots \mathbf{W}_{r_k})$$

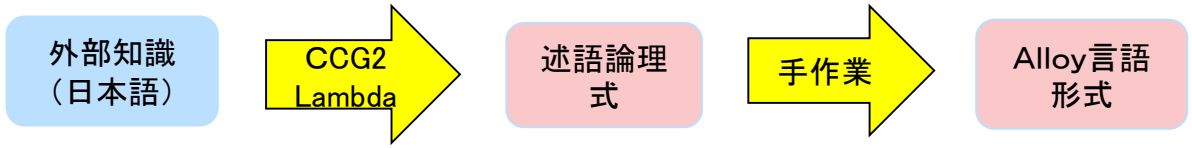
  で閾値を越える推論規則を抽出

Copyright（C）Nomura Research Institute, Ltd. All rights reserved.

⑤CCG2lambdaにて、外部知識（日本語文）を述語論理式に変換

目的と手順の概要

■ 外部知識（日本語文）を、プログラムで推論しやすい述語論理式に変換する。



例1

①全ての人は 、自分を殺さ ない 。

②exists x.(exists z1.(全て(z1) & (x = z1)) & 人(x) & -exists z1.(自分(z1) & exists e.(殺す(e) & (Nom(e) = x) & (Acc(e) = z1))))

③fact{all p:Person|all t:Time|all r:Room{no p.kill.t.p.r}}

例2

①ある人が、毒 を 盛られたなら ば 、ある人は死ぬ。

②(exists x.(_人(x) & exists z2.(_毒(z2) & exists e.(_盛る(e) & Past(e) & exists z2.(_人(z2) & (Dat(e) = z2)) & (Acc(e) = x) & (Acc(e) = z2)))) -> exists x.(_人(x) & exists e.(_死ぬ(e) & (Nom(e) = x))))

③all q:Person|all t:Time{some Person.毒を盛る.t.q=>dead[q,t.next]}

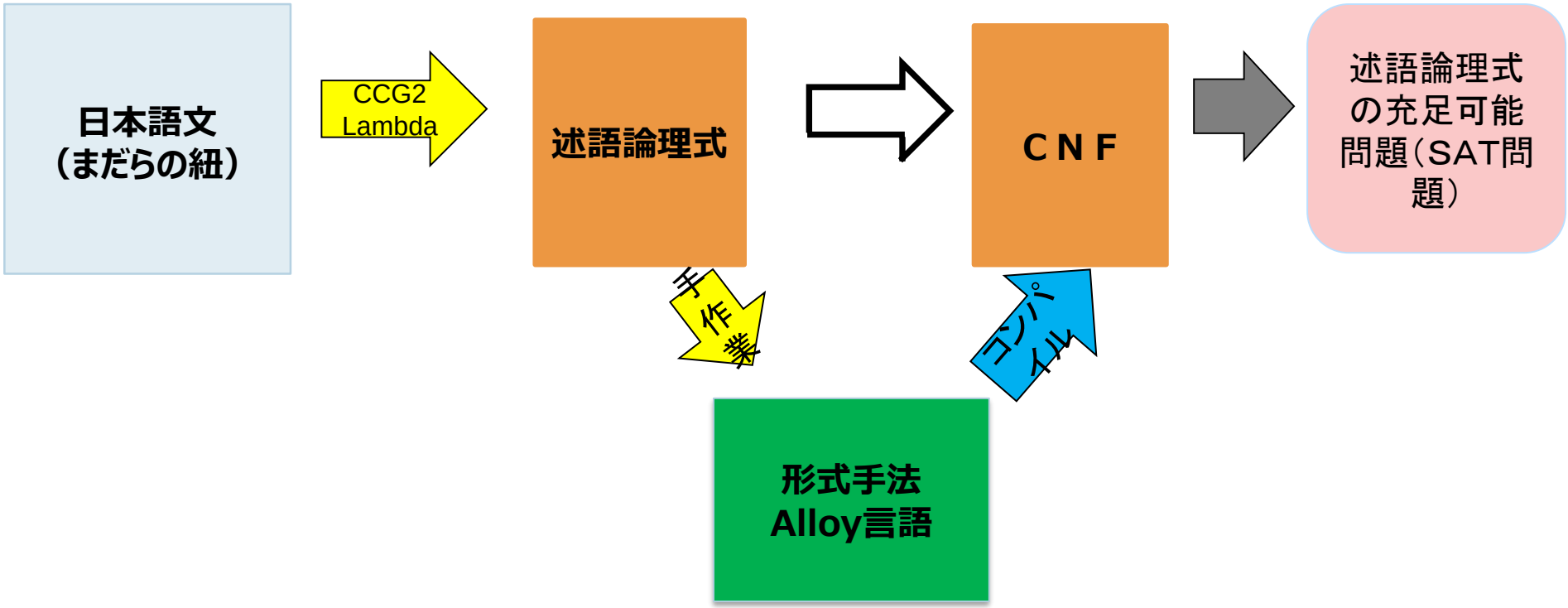
注　述語論理式からAlloy言語に変換するプログラムはできておらず、手作業で変換。

ただし、日本語文→述語論理式→CNF（連言標準形）→充足可能問題（SAT問題）が正しい流れで、AlloyはCNFへのコンパイラ。

NRI Copyright（C） Nomura Research Institute, Ltd. All rights reserved.

参考） 日本語文と述語論理式と形式手法Alloy言語の関係

- 日本語文→述語論理式→CNF（連言標準形）→充足可能問題（SAT問題） が本来の流れである。
- AlloyはCNFへのコンパイラである。
- ただし、オブジェクト定義やリスト構造など、Alloy言語仕様により、述語論理式同士の記号の共通化や、などが図れるため、述語論理式を直接、SAT問題に直すより、問題の見通しがよくなる。



Copyright（C）Nomura Research Institute, Ltd. All rights reserved.

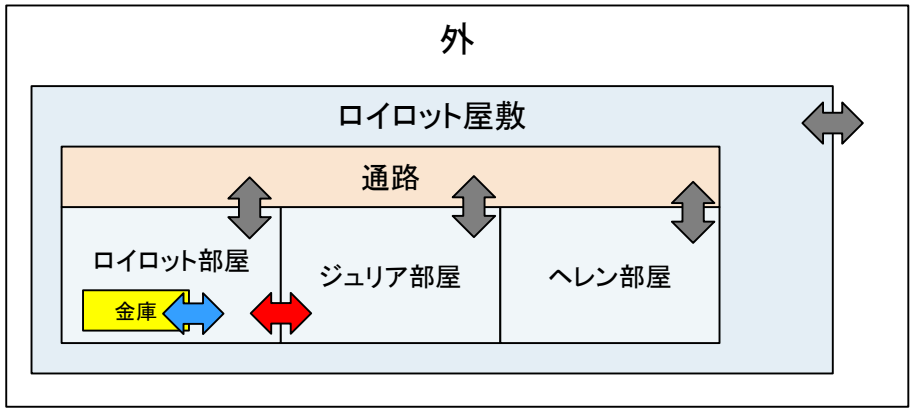
加えた外部知識

- 主な外部知識は以下
  - ①密室殺人の殺害方法リスト
  - ②インドに生息する生き物とその属性、行動リストー>回収できる　⇒蛇、トカゲ、蜘蛛
  - ③ロイロット屋敷のトポロジーデータ

①密室殺人の殺害方法リスト（自殺を除く、全てのケースを考慮）

・部屋外からの殺害　殺害は外で時間差
　薬物
・室内で生きている被害者を外から殺害
　隙間凶器
　有毒生物
・自殺

③ロイロット屋敷のトポロジーデータ



※灰色の矢印は動物は移動できない

②インドに生息する生き物		
	大きさ	毒性
牛	大	
象	大	
虎	大	
馬	大	
ロバ	大	
ラクダ	大	
ヤク	大	
ゾッキョ	大	
鹿	大	
山羊	大	
羊	大	
猿	中	
犬	中	
猫	中	
ウサギ	中	
鳥	中	
コウモリ	中	
鶴	大	
七面鳥	大	
カラス	中	
にわとり	中	
鳩	中	
魚	小	
カニ	小	
トカゲ	小	毒
ヒル	小	毒
蚊	小	
アリ	小	毒
クモ	小	毒
蛇	小	毒
ネズミ	小	
ハエ	小	

Copyright（C）Nomura Research Institute, Ltd. All rights reserved.

⑥Alloyを使って、述語論理の充足可能問題（SAT）を解く。 3つの場面を設定

■手順の目的

- 「犯行の可能性の列挙」を、ナレッジグラフ＋補完知識の述語論理式の充足可能問題（以下、SAT問題）ととらえる。
- SAT問題は、形式手法AlloyAnalyzerを使って解く。

■手順の概要

- ナレッジグラフと、外部知識を、述語論理で記述。
- 述語論理は、Alloy言語形式に変換する。
- AlloyAnlyzerは、Alloy言語をCNF（連言標準形）に変換し、SAT問題を解き、可能性の状況を列挙する。
- 複数の可能な状況（解）を、限定するため、“合理的な制約条件”を付けくわえ、1つの可能性に絞る。
  ここで、「合理的な制約条件」とは、物語上に現れるナレッジグラフや、一般常識などの外部知識

■設定した場面

場面1： ジュリア殺害の日
場面2： ヘレン殺害未遂の日
場面3： 殺人事件の真相の様相

Copyright（C） Nomura Research Institute, Ltd. All rights reserved.

⑥-1：形式手法Alloyの記述方法と知識の与え方

場面に応じたオブジェクトとメソッド定義

- オブジェクト 人間と、メソッド　killを定義。killは、引数（部屋、時間、対象人間）をとる。
- abstract sig Person {kill:this lone->Room lone->Person lone->Time}

外部知識を与える

- ある人に殺される、または、毒を盛られたりすると、死ぬ（知識）
- pred dead[q:Person,t:Time] {some Person.kill.t.q.Room or some Person.毒を盛る.(t.prev).q}
- 犯人と被害者は同じ場所時刻にいないと殺せない（知識）
- fact{ all p : Person| all q :(Person-p)| all t:Time|all r:Room{some p.kill.t.q.r =>(q.where[q].t = p.where[p].t) }

場面を設定

- ロイロット殺人の日
- 時間　　enum Time{夜,夜中}
- 登場人物　one sig ホームズ,ロイロット,ヘレン extends Person {}
- 部屋　　one sig ヘレン部屋,ジュリア部屋,ロイロット部屋,金庫,外 extends Room{}

登場人物の行動を記述

- ロイロットは外出している。　fact{(ロイロット->外->夜) in ロイロット.where}
- fact{(ホームズ->ロイロット部屋->夜) in ホームズ.where}
- fact {dead[ロイロット,夜中]}

NRI Copyright © Nomura Research Institute, Ltd. All rights reserved.

⑥-2：場面1と場面2でAlloyスクリプトに与えた設定・知識

■物語を2つの場面に分割する

- 場面1と場面2の設定

	場面1　ジュリア殺害の日	場面2　ヘレン殺害未遂の日
時間	夜/深夜	夕方/夜/深夜
空間	ロイロット部屋、ジュリア部屋、ヘレン部屋、外、金庫	ロイロット部屋、ジュリア部屋、ヘレン部屋、外、金庫
登場人物	ヘレン、ジュリア、ロイロット	ヘレン、ロイロット、ホームズ
その他		殺害行為の失敗について追加

■**2つの場面に共通部分と、各場面の状況を記述する部分**について説明する。

- 前者については、場面で異なる部分を赤字で注記。

Copyright（C）Nomura Research Institute, Ltd. All rights reserved.

⑥-3：場面1と場面2　登場主体に関する記述

- 登場主体に関する部分は、場面によって犯行阻止を表現するためのメソッドを持たせている。
  - 添付したスクリプト本文で確認してほしい。

ジュリア殺害の日

```
////////////////////////////////////
//////
//////登場主体に関する記述
//////
////////////////////////////////////
--登場する動物・人物はヒヒ,チーター,小さい有毒生物,ヘレン,ジュリア,ロイロット
abstract sig Character {
//登場主体は、ある時間に1つの場所にいる。
                enter:  this -> Room one -> Time,
}
//動物
abstract sig Animal extends Character {}
one sig ヒヒ,チーター,小さい有毒生物 extends Animal {}
//人間
abstract sig Person extends Character {
//人は、ある時間にある方法で自分以外を殺す意思を持つことがある
                Kill : this lone -> lone ( Person - this ) -> Method -> Time,
//人は、ある時間にある部屋の施錠をすることがある
                lock:  this -> Room -> Time,
}
one sig  ヘレン,ジュリア,ロイロット extends Person {}
```

ヘレン殺害未遂の日

```
////////////////////////////////////
//////
//////登場主体に関する記述
//////
////////////////////////////////////
--登場する動物・人物はヒヒ,チーター,小さい有毒生物,ヘレン,ホームズ,ロイロット
abstract sig Character {
//登場主体は、ある時間に1つの場所にいる。
                enter:  this -> Room one -> Time,
}
//動物
abstract sig Animal extends Character {}
one sig ヒヒ,チーター,小さい有毒生物 extends Animal {}
//人間
abstract sig Person extends Character {
//人は、ある時間にある方法で自分以外を殺す意思を持つことがある
                Kill : this lone -> lone ( Person - this ) -> Method -> Time,
//人は、ある時間にある部屋の施錠をすることがある
                lock:  this -> Room -> Time,
//人は、ある時間に誰かに反撃を加えることがある
                Intercept: this ->lone Person -> Time
}
one sig  ヘレン,ホームズ,ロイロット extends Person {}
```

NRI Copyright（C）Nomura Research Institute, Ltd. All rights reserved.

⑥-3：場面1　殺人方法に関する記述

■「密室殺人における殺害方法のリスト＋直接（対面）の殺人」をもとに、全ての殺害方法の可能性を記述。

ジュリア殺害の日

```
////////////////////////////////////
//////殺人方法に関する記述
////////////////////////////////////
//殺される人は、殺す意思を持たない
fact {
all p: Person | all t: Time { 殺害[Person,p,t] => no p.Kill}
}
--考えられる殺害方法は直接, 薬物, 隙間凶器, 小生物である。
abstract sig Method {
}
one sig 直接, 薬物, 隙間凶器, 小生物 extends Method {}
//殺害は、直接, 薬物, 隙間凶器, 小生物のいずれかで行われる。
pred 殺害[p : Person  , q : Person , t:Time]{直接[p, q, t] || 薬物[p, q, t] || 隙間[p, q, t]  || 生物[p, q, t]}

//直接は、pが直接殺害する意思を持っていて、pとqは時刻tに同じ部屋にいると行われる。
//薬物は、pが薬殺する意思を持っていて、pとqは殺害時刻以前t.prevsに同じ部屋にいると行われる
//隙間は、pが隙間凶器で殺害する意思を持っていて、pとqは時刻tに別の部屋にいるが、pの部屋とqの部屋は（隙間）行き来できると行われる。
//生物は、pが小生物で殺害する意思を持っていて、pとqは時刻tに別の部屋にいる。そして、ある動物aがいて、pとは別の部屋にいて、aが襲うと行われる。
//※襲うは、小生物で殺害する意思を持っている人pがいて、動物aがそれ以外の人qと同じ部屋にいる。

pred 直接[p : Person  , q : Person , t:Time]{ one p.Kill.t.直接.q && no p.Kill.Time.(Method - 直接) && Together1[p, q, t]}
pred 薬物[p : Person  , q : Person , t:Time]{ one p.Kill.t.薬物.q && no p.Kill.Time.(Method - 薬物)&& Together1[p, q, (t.prevs)]}
pred 隙間[p : Person  , q : Person , t:Time]{ one p.Kill.t.隙間凶器.q && no p.Kill.Time.(Method - 隙間凶器)&& not Together1[p, q, t]  && Passable[(~(p.enter.t)).p,(~(q.enter.t)).q]}
pred 襲う[a : Animal, t: Time ]{one p:Person | one p.Kill.t.小生物 && no p.Kill.Time.(Method - 小生物) && one q:( Person - p ) | Together1[a,q,t]}
pred 生物[p : Person  , q : Person , t:Time]{ one p.Kill.t.小生物.q && no p.Kill.Time.(Method - 小生物)&& not Together1[p,q, t] && one a:Animal | not Together1[p,a, t] && not
Together2[p,a, t] &&  襲う[a,t]}

--殺人方法による結果の定義
//凶器、隙間凶器使うと外傷ができる、遅効性薬物使うと薬物反応がでる
pred 外傷[p: Person ] { one t:Time | 直接[ Person, p, t ]  || 隙間[ Person, p, t] }
pred 毒物[p: Person ] { one t:Time | 薬物[ Person, p, t ] }
--殺人による結果：殺害された人は死ぬ。そうでない人は生きている。
pred Dead[p: Person, t: Time]{殺害[Person,p,t]  }
pred Alive[p: Person, t: Time]{not Dead[p,t]}
```

Copyright（C）Nomura Research Institute, Ltd. All rights reserved.

⑥-3：場面2　殺人方法に関する記述

■「密室殺人における殺害方法のリスト＋直接（対面）の殺人」をもとに、全ての殺害方法の可能性を記述。

ヘレン殺害未遂の日

```
////////////////////////////////////
//////殺人方法に関する記述
////////////////////////////////////
//犯行の阻止が起きるということは、誰かが誰かの殺害を企図している。阻止をする人は、殺す意思を持たない。
fact {
all p: Person | all q: Person | all t:Time {one p.Intercept.t.q =>one q.Kill.t.Method.(Person - p ) && no p.Kill }
}
--考えられる殺害方法は直接, 薬物, 隙間凶器, 小生物である。
abstract sig Method {
}
one sig 直接, 薬物, 隙間凶器, 小生物 extends Method {}
//殺害は、直接, 薬物, 隙間凶器, 小生物のいずれかが、失敗しなかったときに行われる。
pred 殺害[p : Person  , q : Person , t:Time]{ 直接[p, q, t] || 薬物[p, q, t] || 隙間[p, q, t]  || 生物[p, q, t] && not 失敗[p,t] }

//直接は、pが直接殺害する意思を持っていて、pとqは時刻tに同じ部屋にいると行われる。
//薬物は、pが薬殺する意思を持っていて、pとqは殺害時刻以前t.prevsに同じ部屋にいると行われる
//隙間は、pが隙間凶器で殺害する意思を持っていて、pとqは時刻tに別の部屋にいるが、pの部屋とqの部屋は（隙間）行き来できると行われる。
//生物は、pが小生物で殺害する意思を持っていて、pとqは時刻tに別の部屋にいる。そして、ある動物aがいて、pとは別の部屋にいて、aが襲うと行われる。
//※襲うは、小生物で殺害する意思を持っている人pがいて、動物aがそれ以外の人qと同じ部屋にいる。

pred 直接[p : Person  , q : Person , t:Time]{ one p.Kill.t.直接.q && no p.Kill.Time.(Method - 直接) && Together1[p, q, t]}
pred 薬物[p : Person  , q : Person , t:Time]{ one p.Kill.t.薬物.q && no p.Kill.Time.(Method - 薬物)&& Together1[p, q, (t.prevs)]}
pred 隙間[p : Person  , q : Person , t:Time]{ one p.Kill.t.隙間凶器.q && no p.Kill.Time.(Method - 隙間凶器)&& not Together1[p, q, t]  && Passable[(~(p.enter.t)).p,(~(q.enter.t)).q]}
pred 襲う[a : Animal, t: Time ]{one p:Person | one p.Kill.t.小生物 && no p.Kill.Time.(Method - 小生物) && one q:( Person - p ) | Together1[a,q,t]}
pred 生物[p : Person  , q : Person , t:Time]{ one p.Kill.t.小生物.q && no p.Kill.Time.(Method - 小生物)&& not Together1[p,q, t] && one a:Animal | not Together1[p,a, t] && not
Together2[p,a, t] &&  襲う[a,t]}

//誰かが殺す意思を持つも、それが阻止されたときは失敗となる。
pred 失敗[p:Person, t:Time]{one p.Kill.t.Method && one Person.Intercept.t.p}
--殺人方法による結果の定義
//凶器、隙間凶器使うと外傷ができる、遅効性薬物使うと薬物反応がでる
pred 外傷[p: Person ] { one t:Time | 直接[ Person, p, t ]  || 隙間[ Person, p, t] || ( one p.Kill.t.(隙間凶器 + 直接) && 失敗[p, t] )}
pred 毒物[p: Person ] { one t:Time | 薬物[ Person, p, t ]  || ( one p.Kill.t.薬物 && 失敗[p, t] )}
--殺人による結果
pred Dead[p: Person, t: Time]{ 殺害[Person,p,t] || 失敗[p,t]
pred Alive[p: Person, t: Time]{not Dead[p,t]}
```

Copyright（C）Nomura Research Institute, Ltd. All rights reserved.

⑥-3：場面1と場面2　建物に関する記述

■場面に共通する部分は、登場主体・殺人方法・建物/所在を記述した。

- 2つの場面で若干異なる部分もある。スクリプト本文を確認してほしい。

```
////////////////////////////////////
//////建物に関する記述
////////////////////////////////////
--建物に関する定義
--登場する建物はヘレン部屋,ジュリア部屋, ロイロット部屋, 金庫,外である。
abstract sig Room {
                owner : set Person,
                pass: set Room
}
one sig ヘレン部屋,ジュリア部屋, ロイロット部屋, 金庫,外 extends Room{}
fact {
//部屋はownerが内側からしかlockできない。金庫はownerがlockできる
                all r: ( Room - 金庫 ) | all p: Person | all t: Time { some p.lock.t.r => p in r.owner && some p.enter.t.r}
                all r: 金庫 | all p: Person | all t: Time { some p.lock.t.r => p in r.owner}
//部屋が、ある人にlockされてたら、その人以外は入れない。
                all disj p, q: Person  | all r: (Room - 金庫) | all t: Time { some p.lock.t.r => no q.enter.t.r }
//金庫に人は入れない
                all p: Person {not p -> 金庫 in  p.enter.Time}
//金庫はロイロット不在のときは施錠されている。入っているものはロイロットが鍵をかけている限り出れない。
                all t: Time {no ロイロット.enter.t.ロイロット部屋 => some ロイロット.lock.t.金庫 }
                all t: Time {one ロイロット.lock.t.金庫 => lone Character.enter.t.金庫 }
//隙間がある部屋間
                ロイロット部屋.pass=( ジュリア部屋  + ロイロット部屋)
                ジュリア部屋.pass=(  ジュリア部屋  + ロイロット部屋 )
                all r:( Room - ロイロット部屋 - ジュリア部屋) {no r.pass}
}
```

Copyright（C）Nomura Research Institute, Ltd. All rights reserved.

⑥-3:場面1と場面2　所在に関する記述

■場面に共通する部分は、登場主体・殺人方法・建物/所在を記述した。

- 2つの場面で若干異なる部分もある。スクリプト本文を確認してほしい。

```
////////////////////////////////////
//////所在に関する記述
////////////////////////////////////
--所在に関する定義
--同部屋にいることの定義
pred Together1[ p : Character  , q : Character , t:Time ]{ ~(p.enter.t).p = ~(q.enter.t).q}
pred Together2[ p : Character  , q : Character , t:Time ]{ ~(p.enter.t).p.owner = ~(q.enter.t).q.owner}
pred Passable[r:Room, s:Room]{ s in r.pass}
pred Alone[ p : Character , t:Time ]{ not Together1[p, Person,t] }

--動物が動き回れる範囲
fact{
//動物は外と屋内を行き来できない
all a:Animal { a -> 外 in a.enter.夜 => a -> 外 in a.enter.深夜}
all a:Animal { not a -> 外 in a.enter.夜 => not a -> 外 in a.enter.深夜}
all a:Animal {
                        lone a.enter.Time.金庫
                        lone a.enter.Time.ジュリア部屋
                        lone a.enter.Time.ロイロット部屋
                        lone a.enter.Time.外
                        all r:( Room - 金庫 - ジュリア部屋 - ロイロット部屋 - 外 ) { no a.enter.Time.r}
                        }
}
```

Copyright(C) Nomura Research Institute, Ltd. All rights reserved.

⑥−4：場面1：「ジュリア殺害の日」とAlloyによる結果

■場面に共通する部分は、登場主体・殺人方法・建物/所在を記述した。

- 2つの場面で若干異なる部分もある。スクリプト本文を確認してほしい。

```
////////////////////////////////////
//////場面に関するFACT
////////////////////////////////////

//場面に関する情報
//場所に関する情報（言及あり）
fact {
ジュリア部屋.owner=ジュリア                          //
ヘレン部屋.owner=ヘレン                              //
ロイロット部屋.owner=ロイロット                      //
金庫.owner=ロイロット                                //
ジュリア.lock.深夜=ジュリア -> ジュリア部屋          //
ヘレン.lock.深夜=ヘレン -> ヘレン部屋                //
Together1[ヘレン, ジュリア, 夜]                      //
ヘレン.enter.夜=ヘレン -> ヘレン部屋                 //
ジュリア.enter.夜=ジュリア-> ヘレン部屋              //
ヘレン.enter.深夜=ヘレン -> ヘレン部屋               //
ジュリア.enter.深夜=ジュリア -> ジュリア部屋         //
ロイロット.enter.深夜=ロイロット -> ロイロット部屋   //
ヒヒ.enter.夜=ヒヒ -> 外                             //
チーター.enter.夜=チーター -> 外                     //
}
//状態に関する情報（言及あり）
fact {
Dead[ジュリア,深夜]                                  //
Alive[ヘレン,夜]                                     //
Alive[ジュリア,夜]                                   //
Alive[ヘレン,深夜]                                   //
Alive[ロイロット,夜]                                 //
Alive[ロイロット,深夜]                               //
not 外傷[ジュリア]                                   //
not 毒物[ジュリア]                                   //
}
```

モデルを限定するための付加条件

```
//ヘレンは善意の正直者。
pred honest[p: Person]{ no p.Kill}
fact {
//ヘレンは殺す意思を持たない
                honest[ヘレン]      //
}

//これより下、結果に影響がない範囲で与えた計算上都合上の束縛条件
//場面からの推測（外部知識でもある）
fact {
//ヘレンとジュリアが夜にヘレン部屋にいる間
//ヘレン部屋が施錠されているか定かではない事実から
//ヘレン部屋に人物が出入りする解が出てきてしまう。
ロイロット.enter.夜=ロイロット -> ロイロット部屋
no Character.enter.夜.ジュリア部屋

//外は誰のものでもない
//ownerを付与すると、施錠するかどうかの解が増えてしまうため
no 外.owner
}
```

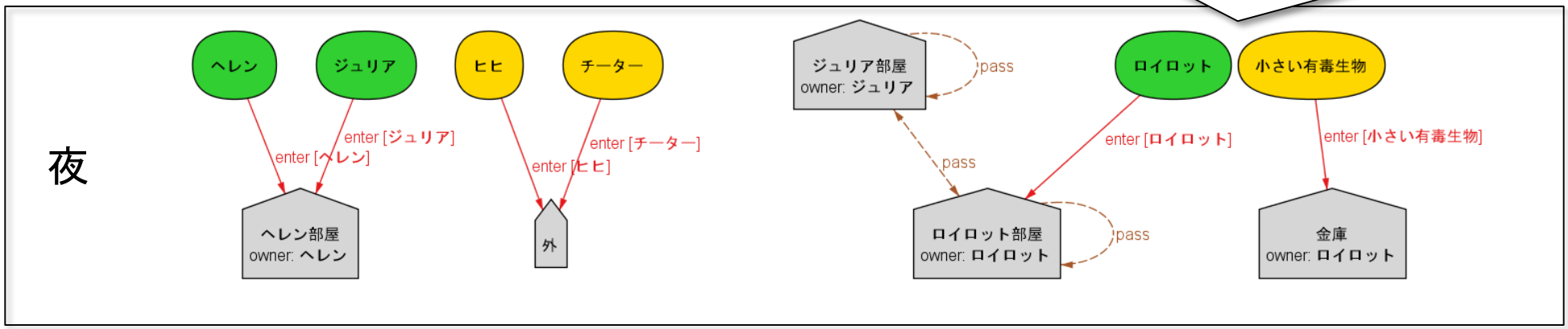
以上のような一階述語論理と事実からこれを満たす解を探す

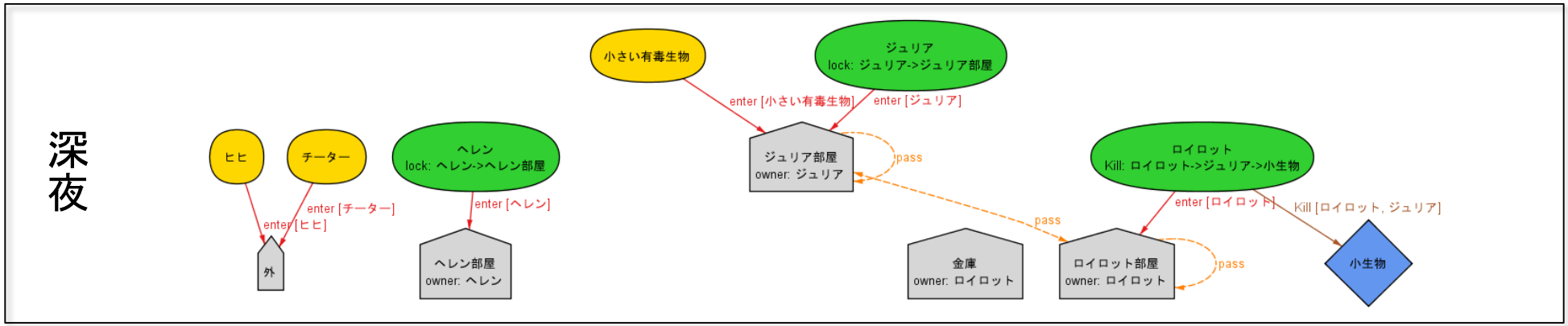
Copyright（C）Nomura Research Institute, Ltd. All rights reserved.

⑥-4：場面1：「ジュリア殺害の日」とAlloyによる結果（青字）

■ Roylottの犯行の可能性のみが残り、当時の人物・動物・モノの所在や状態の可能性が解として提示される

夕方において、以下の2パターンの可能性が見られた。
ロイロットがロイロット部屋にいる　⇒小さい有毒生物が金庫かロイロット部屋にいる





ロイロットが、ジュリアに対し、小生物での殺害の意思を持ち、実行して、ジュリアを殺害。

Copyright（C）Nomura Research Institute, Ltd. All rights reserved.

⑥-5：場面2：「ヘレン殺害未遂の日」とAlloyによる結果

■ヘレン殺害未遂の日では、殺害の方法に関して修正を加えた。

- 殺害時に、邪魔・反撃が入ると失敗し、自分が死ぬ

```
////////////////////////////////////
//////場面に関するFACT
////////////////////////////////////
//場所に関する情報（言及あり）
fact {

//共通部分
金庫.owner=ロイロット
no 外.owner
ロイロット部屋.owner=ロイロット

//場面に拠る状況
ヘレン部屋.owner = (ヘレン + ロイロット)
ジュリア部屋.owner=(ヘレン + ホームズ)
}
//状態に関する情報（言及あり）
fact {
//夕方
小さい有毒生物.enter.夕方!=小さい有毒生物 -> 外
小さい有毒生物.enter.夕方!=小さい有毒生物 -> ジュリア部屋
小さい有毒生物.enter.夕方!=小さい有毒生物 -> ロイロット部屋
小さい有毒生物.enter.夕方!=小さい有毒生物 -> ヘレン部屋
ロイロット.lock.夕方=ロイロット -> 金庫
ロイロット.enter.夕方=ロイロット -> 外

//夜
小さい有毒生物.enter.夜!=小さい有毒生物 -> ジュリア部屋
one ロイロット.lock.夜.金庫
ホームズ.enter.夜=ホームズ-> 外
ヘレン.enter.夜=ヘレン-> ジュリア部屋
ヘレン.lock.夜=ヘレン -> ジュリア部屋
ヒヒ.enter.夜=ヒヒ -> 外
チーター.enter.夜=チーター -> 外

//深夜
one ホームズ.Intercept.深夜
ロイロット.enter.深夜=ロイロット -> ロイロット部屋
ホームズ.enter.深夜=ホームズ-> ジュリア部屋
ホームズ.lock.深夜=ホームズ -> ジュリア部屋
ヘレン.enter.深夜=ヘレン-> ヘレン部屋

Together1[ヘレン,ホームズ,夕方]

Alone[ロイロット,夜]
Dead[ロイロット,深夜]
Alive[ロイロット,夜]
Alive[ロイロット,夕方]

Alone[ヘレン,夜]
Alive[ヘレン,深夜]
Alive[ヘレン,夜]
Alive[ヘレン,夕方]

Alive[ホームズ,深夜]
Alive[ホームズ,夜]
Alive[ホームズ,夕方]
}
```

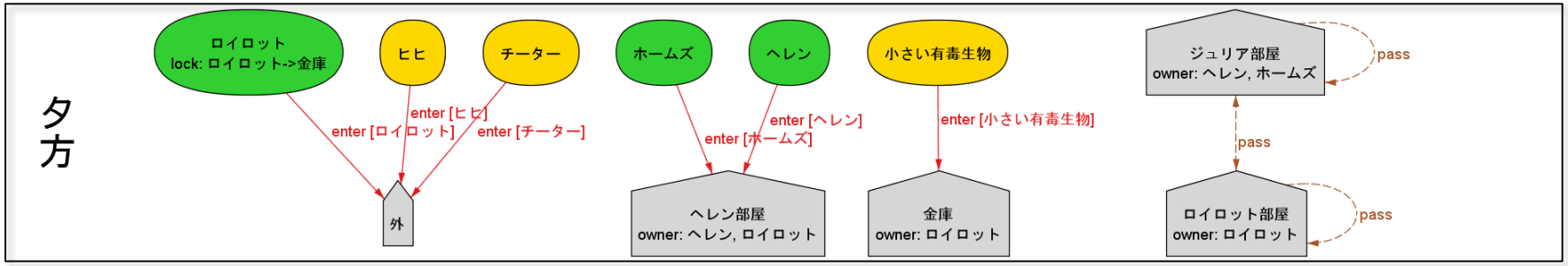
```
//解の個数を狭めるための束縛条件（推理に本質でない）
//束縛のための付与条件
pred honest[p: Person]{ no p.Kill}
fact {
                no ヘレン.enter.夕方.外
                ヘレン.enter.夕方=ヘレン-> ヘレン部屋
                not 外傷[ロイロット]
                not 毒物[ロイロット]
//ヘレンはhonestである。
                honest[ホームズ]
                honest[ヘレン]
}
//扉にlockがかかるかどうかで解のパターンが増えるので限定
pred show {
#Person.lock <5
//one ロイロット.Kill.Time.Method.ホームズ
}
run show
```

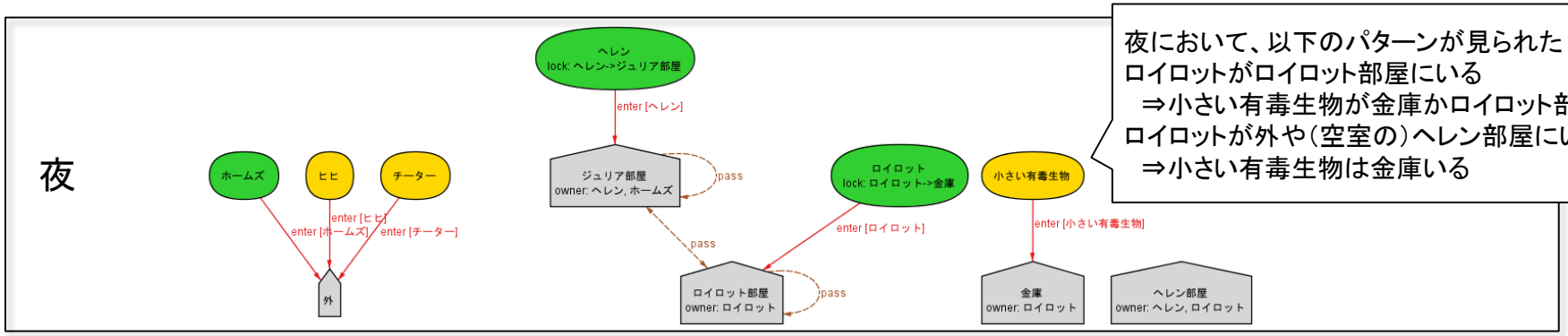
以上のような一階述語論理と事実からこれを満たす解を探す

NRI Copyright（C）Nomura Research Institute, Ltd. All rights reserved.

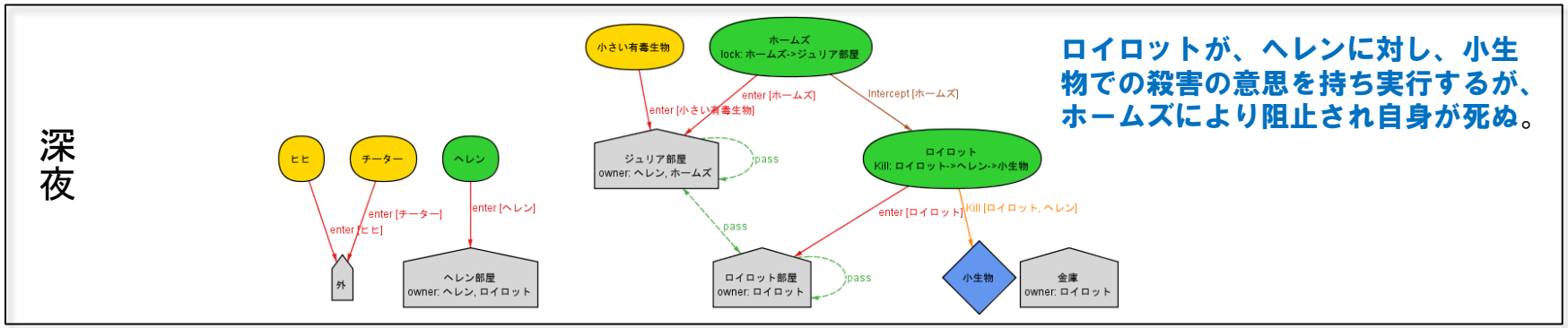
⑥-5：場面2：「ヘレン殺害未遂の日」とAlloyによる結果（青字）

■ロイロットが犯行を試み、失敗する解が提示される





夜において、以下のパターンが見られた
ロイロットがロイロット部屋にいる
⇒小さい有毒生物が金庫かロイロット部屋にいる
ロイロットが外や（空室の）ヘレン部屋にいる
⇒小さい有毒生物は金庫いる



ロイロットが、ヘレンに対し、小生物での殺害の意思を持ち実行するが、ホームズにより阻止され自身が死ぬ。

Copyright（C）Nomura Research Institute, Ltd. All rights reserved.

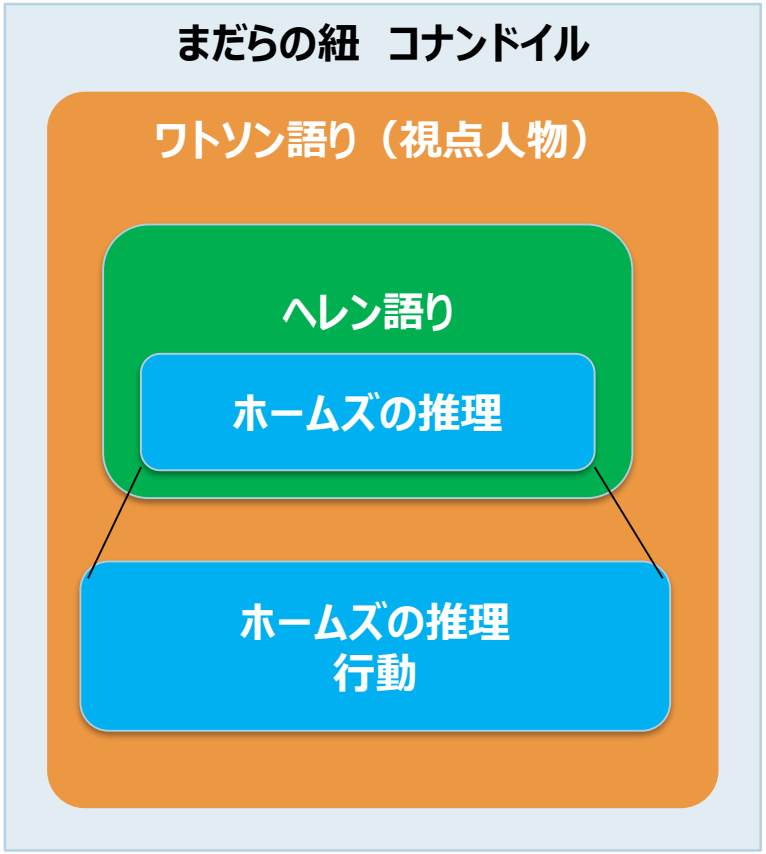
⑥-5：場面3：「事件の真相の様相」とAlloyによる結果　～コナンドイルの物語の階層構造～

■ ヘレンの証言のみで物語が進む部分について、論理と可能性から別の結論を考える。

物語の階層構造を考慮する理由

①ヘレンが死んだ後に、ワトソン（視点人物）がこの話を語りだす。
②前半は、ヘレンの発言となっている。
　＝ヘレンの語りをベースに、ホームズは推理する。
　＝ヘレンの発言（証言）を嘘とすると、後半のホームズは間違う。

③ヘレンの怪しい点
・ヘレンにも動機あり。
・ロイロットをホームズ屋敷まで追いかけさせ、ロイロット部屋を留守に！



場面3の設定のポイント

「ヘレンがジュリア殺害の真相」を知っていたか、知らなかったかを考慮し、
様相論理で推論を行う。

・ヘレン発言をすべての嘘にすると、FACTが足らずに解が出ない
・ヘレン発言毎に真偽値を振り分ける方法は、煩雑で今回はできず。

参考：https://www.nri.com/jp/knowledge/publication/fis/kinyu_itf/lst/2018/10/08

Copyright（C）Nomura Research Institute, Ltd. All rights reserved.

⑥−5：場面3：「事件の真相の様相」とAlloyによる結果　Alloyの様相論理公理設定

```
sig World {ジュリア殺害真相: Hat}//世界はいくつあってもよい。(oneを入れていない）
abstract sig Hat {}
one sig ヘレン知る,ヘレン知らない extends Hat {}//-- ジュリア殺害真相をヘレンが知るか知らないか、世界はどちらか。
abstract sig Honest {}
one sig 嘘つき,正直 extends Honest {}//
one sig RealWorld extends World {}
abstract sig Person {access: World -> World,Honest:Honest}//人物は世界にアクセスできる、かつ正直か嘘つきかの属性を持つ。
one sig ホームズ extends Person {}//登場人物はホームズとヘレンのみ
one sig ヘレン extends Person {}
abstract sig liveordead{}
one sig ロイロット死 extends liveordead{} //ロイロットは死か

//  様相論理の公理 -- 世界の同値関係と推移関係の定義
fact S5 {all p : Person | {
                                        // reflexive
                                        all w : World | all w':World| w' in p.access[w] => w in p.access[w']
                                        // symmetric and transitive (if u->v and u->w then v->w)
                                        all w : World | all w' : p.access[w] | all w'' : p.access[w] | w'' in p.access[w']
                        }}
//すべての世界
fact DifferentWorldsAreDifferent {
                        all w : World | all w' : World {(w.ジュリア殺害真相 = w'.ジュリア殺害真相) => w = w'}
}
//世界は、ジュリア殺害方法をヘレンが知るか、ヘレンが知らないかの2つの世界がある。
fact {                  all w: World  {(w.ジュリア殺害真相 = ヘレン知る)
                                                or (w.ジュリア殺害真相 = ヘレン知らない) }}
```

NRI Copyright（C）Nomura Research Institute, Ltd. All rights reserved.

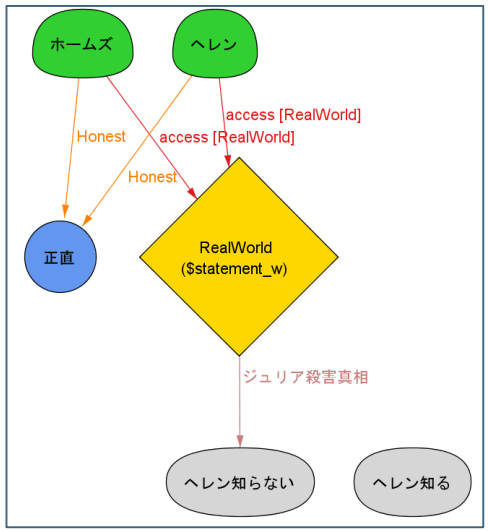
⑥−5：場面3：「事件の真相の様相」とAlloyによる結果　Alloyの様相論理命題の外部知識の設定

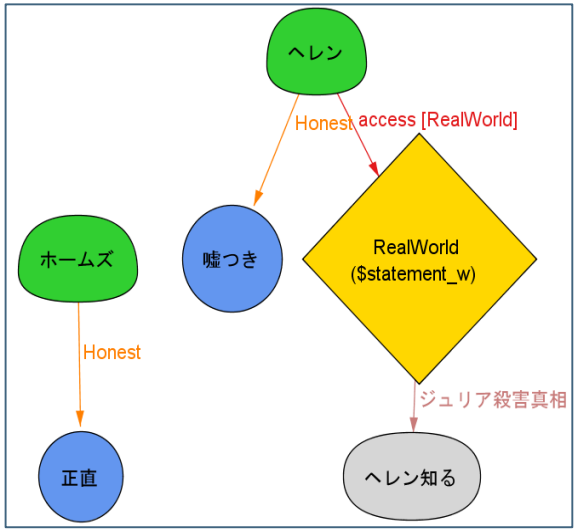
```
// ヘレン自身は、世界がどちらか知っている。
fact {all w: World | ヘレン.access[w] = {w': World | w.ジュリア殺害真相 = w'.ジュリア殺害真相}}
// ヘレンが正直ならば、ホームズはヘレンが知っているか知らないかを知っている。
fact { (ヘレン.Honest=正直) => all w: World | ヘレン.access[w] = ホームズ.access[w]}
//ヘレンが嘘つきならば、ホームズは情報がない。
fact { (ヘレン.Honest=嘘つき) => no ホームズ.access}

// 人が世界を知っていることを定義している。
pred knows[p: Person, w: World, u: set World] {
                        all w1: (p.access[w] & u) | all w2: (p.access[w] & u) |  w1.ジュリア殺害真相 =
w2.ジュリア殺害真相}
//ロイロットは死んだことをFACTとして記述。
fact{ロイロット死= liveordead}
//ホームズは正直としている。
fact{ホームズ.Honest=正直}

pred statement[w:RealWorld] {
   //ヘレンが殺害方法を知っており、かつ、ホームズが、ジュリア殺害方法をヘレンが知っていること
を知っていたならば、ロイロットは死なない。
  ( w.ジュリア殺害真相 = ヘレン知る and ヘレン.access[w] in ホームズ.access[w] ) => ( ロイロット
死 != liveordead )  }
//ヘレンが、アクセスできる世界をホームズが知らないならば、ジュリアは殺害の真相をしっている。
assert ヘレンのたくらみ{all w': ヘレン.access[World] | not knows[ホームズ,w',World] => w'.ジュリ
ア殺害真相 = ヘレン知る}
//check ヘレンのたくらみ
run statement
```

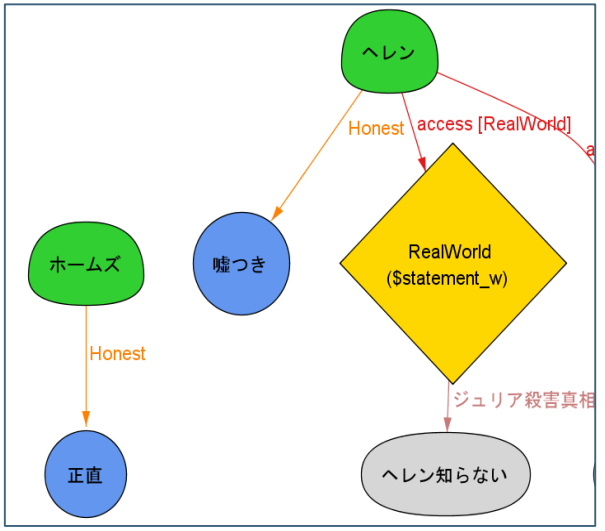
様相論理命題の外部知識
①ヘレンが殺害真相を知っており、かつ、ジュリア殺害真相をヘレンが知っていることをホームズが、知っていたならば、ロイロットは死なない。
②ヘレンが正直ならば、その時に限り、ヘレン殺害真相を知っていたか、知らなかったか、ホームズは知る。

NRI Copyright（C）Nomura Research Institute, Ltd. All rights reserved.

⑥-5:場面3:「事件の真相の様相」とAlloyによる結果



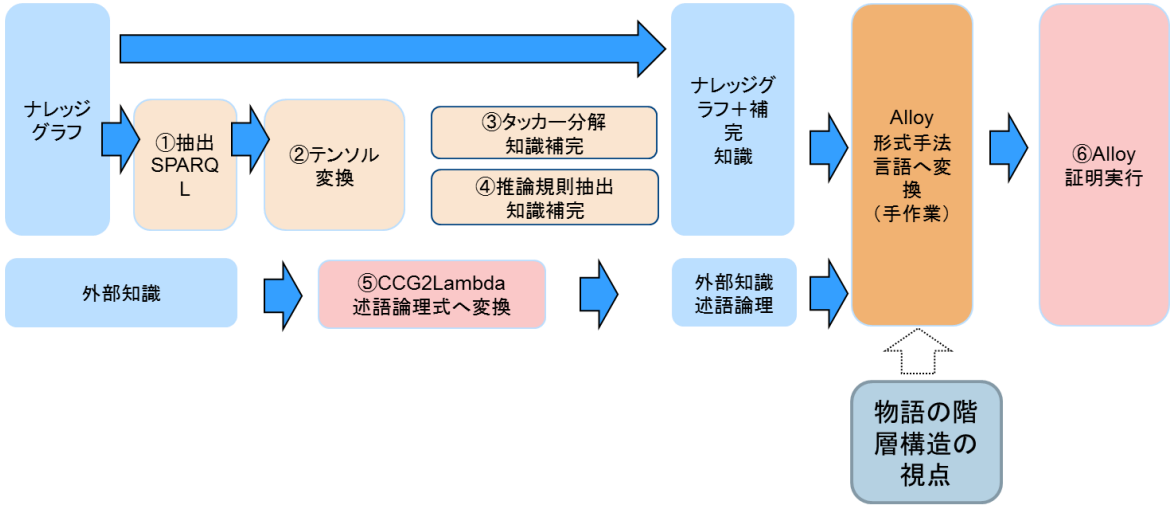




ヘレン		ホームズ	Alloy結果	
ジュリアの状態A	ジュリアの意思	ジュリアの状態がAであることを	結果	考察
ジュリア殺害真相を知っていた	正直に話す	知る	×	ホームズは、ヘレンから真相を伝えられ、ロイロットは死なない。
		知らない	×	ホームズの能力から、起きない。
	うそを言う	知る	×	ヘレンが嘘つきのため、起きない。
		知らない	○	ヘレンの策略のため、ロイロットは死ぬ。
ジュリア殺害真相を知らなかった	正直に話す	知る	○	物語のメイン解釈。ホームズの落ち度で最後の発言の根拠
		知らない	×	ホームズの能力から、起きない。
	うそを言う	知る	×	ヘレンが嘘つきのため、起きない。
		知らない	○	事故は偶然起きた。

Copyright(C) Nomura Research Institute, Ltd. All rights reserved.

C）まとめ1　アプローチ全体と各プロセス



- 「犯行状況の可能性列挙」を、述語論理式の充足可能問題（SAT問題）にすることで、推論過程でどのファクトを使うかの取捨選択自体を、プログラムに任せることできた。
- SAT問題により、後ろ向き推論では出てこない、真犯人の可能性を上げることができた。

- テンソル分析における知識補完は、タッカー分解手法ではうまくいった。機械的な知識補完は、人がその知識を使うかを考慮しなければならないが、人が気づかないような示唆を与えることが可能。
- Alloyは、状況やFACTの設定が容易で、かつ述語論理式をSAT問題におとすための非常に強力なツールとなる。

Copyright（C）Nomura Research Institute, Ltd. All rights reserved.

C）まとめ2　技術的知見と課題

■ テンソル形式での知識補完

Tucker分解

- 大規模疎テンソルの補完は、補完精度などが議論されていて、適用してよい手法かは再考の余地がある
- Tucker分解の分解一意性を与えるような、制約条件を見つけることが必要かもしれない。
- 大規模疎テンソルに対しての線形代数計算に耐えうる、強力な計算資源が必要と感じた。
  - 現実的な計算を考えると、テンソルを人物に絞ってしまい、残りの部分は外部知識となってしまった。
  - 当該チャレンジ内容とは別に、内部知識でどこまで知識を補完できるかについて、非常に興味を持った。

推論規則抽出

- 事実関係の列挙のケースとして紹介されている当該方法について、時間関係がある今回のケースでの利用は難しいと感じた。
- 推論規則抽出においては、シーンの区切り、ごく少数カウントされるケースを省くなどの前提知識を設けることで現実的な抽出ができた。
- テンソルのべき乗という形式でなく、幅優先探索を利用して高速化したことは大きい。

■ 機械学習的なパラメータは外部知識の一部として、記述するべきと考えた。

■ Alloyで**SAT問題を解くための時間がかかるために、モデルを限定**する必要があった。

- 与えた束縛条件における解の全数提示には、大規模な並列計算が必要となる。
- そのために、外部知識（制約条件）を与えて、モデルを限定する必要があった。

■ 本件では、行列計算やSAT問題がメインとなり、**大規模な並列計算環境や量子計算環境があれば、全数・網羅性を持たせた解析**ができた。

Copyright（C） Nomura Research Institute, Ltd. All rights reserved.

C）まとめ3　物語の真相

- ロイロットの犯行であることは、解として提示される。
- ロイロット殺害に関して、本文中のfactだけだと**ヘレン犯人の可能性がSAT問題の解として提示**される。
- 以上から、場面3を考える必要があった。**後ろ向き推論では、この可能性に気づけないので、非常に意味のある結果**と感じる。

※　AlloyAnlyzerのスクリプトでHonest[ヘレン]をコメントアウトすることで、以下の解の候補が提示される。

- 解の候補
  - ヘレンがロイロットと共謀して、ジュリアを殺害した可能性
  - ヘレンがロイロットの手法を知り、ホームズを利用してロイロットを殺害した可能性もある
- 特に、ヘレンが犯人である可能性を示唆する文面も多い

  動機
  - ロイロットが近隣に迷惑をかけ、身内として迷惑している。
  - ロイロットから暴力を受けている。
  - ヘレンもロイロットとの遺産相続の利害関係者である。

  示唆する点
  - ジュリア殺害の状況がヘレンの証言でしか確かめられていない。
  - “蛇が必ず相手を咬む保証はない。もしかすると、一週間位、彼女は毎夜その毒牙から逃れていたかもしれない。”という発言から、ヘレンは偶然犯行の方法を知ったかもしれない。

- 以上の可能性は、文章中での事実だけでは否定することができない。
- ヘレンが一部事件に関わった可能性は、シャーロックホームズを研究しているシャーロキアンのなかでも注目されておらず、**本チャレンジで機械的に抽出された結果として、非常に興味深い**。

NRI Copyright（C）Nomura Research Institute, Ltd. All rights reserved.

2. 実行プログラム

- 自作したプログラムと利用した外部ライブラリー
  - スクリプトは応募時のファイルに添付した。
  - 全て無償のソフトウェアである。

- 自作したプログラム
  - 英文→RDF（精度が悪く、今回未利用）
  - 3つ組抽出SPARQLクエリー :（資料中に記載＠SPARQL）
  - RDF（ntファイル）→テンソル（mtxファイル) :（簡易なシェルスクリプトのため略）
  - テンソル　タッカー分解 :Tucker4SH.py （資料中に記載＠Python）
  - テンソル解析　推論規則　抽出 :DFS4SH.c （添付＠C言語）
  - Alloy用モデル　3場面（ジュリア殺害、ロイロット殺害、事件の真相の様相） :（添付＆資料中に記載＠AlloyAnalyzer）

利用した外部ライブラリ

- CCG2Lambda
  - https://github.com/mynlp/ccg2lambda
- Alloy Analyzer（alloy4.2_2015-02-22.jar）
  - http://alloytools.org/

計算環境

- Win7 Professional : 8GB
- AWS t2xlarge：インスタンス 16GB 4コアCPU

NRI Copyright（C）Nomura Research Institute, Ltd. All rights reserved.


NRI
未来創発
Dream up the future.