

# 第3回ナレッジグラフ推論チャレンジ2020 応募シート

## 「ナレッジグラフ埋め込みに基づく犯人探し」

2021年1月31日  
株式会社KDDI総合研究所  
黒川 茂莉



**氏名**

**黒川 茂莉**



**所属**

**株式会社KDDI総合研究所**

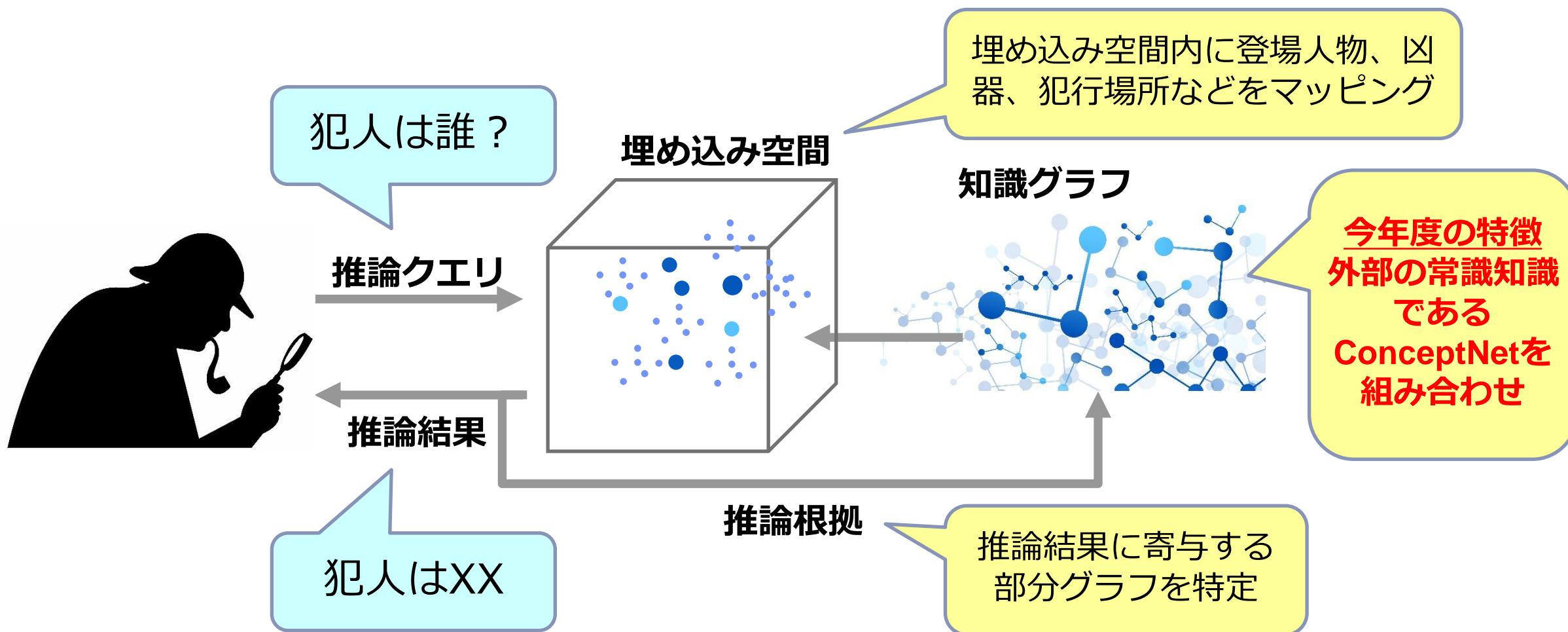


**メールアドレス**

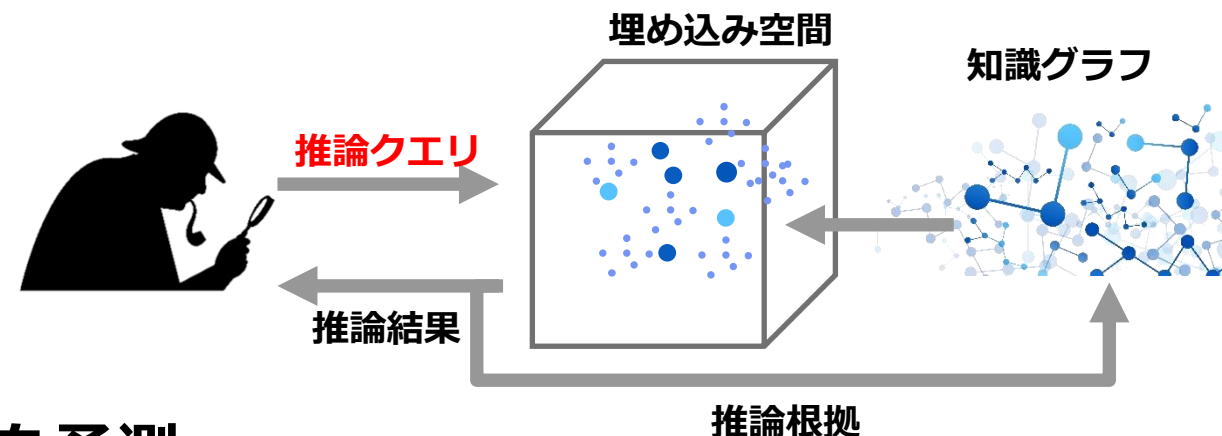
**mo-kurokawa@kddi-research.jp**

- 推論の方針
- 推論方法
- 推論結果
- 推論根拠
  
- 謝辞
- 参考文献

## 知識グラフの要素をベクトル空間に埋め込んで推論



推論をリンク予測の問題として定義し、クエリを定義

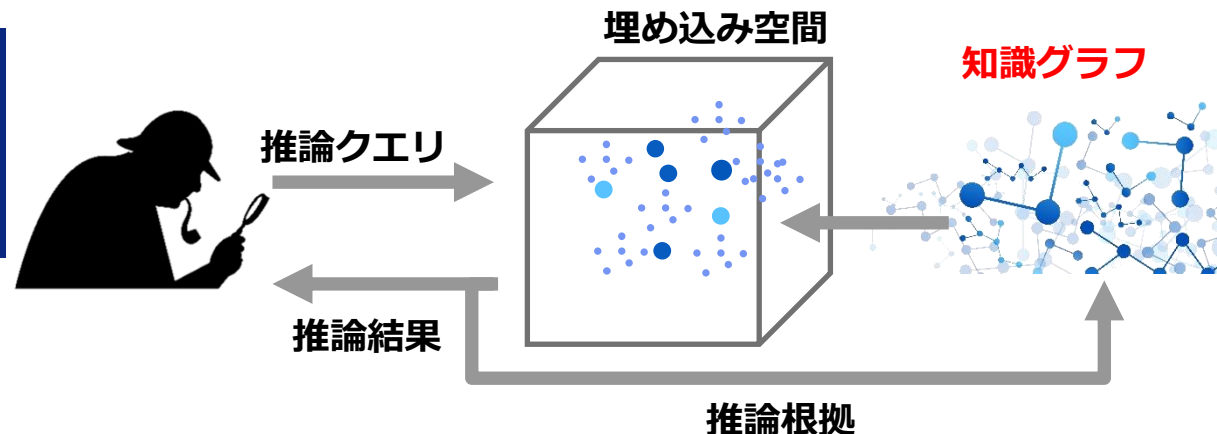


## <詳細>

リンク予測：知識グラフに欠けたリンクを予測

作品	推論タスク	推論クエリ	正解	正解が欠損		
				完全	不完全 (-10%)	不完全 (-25%)
まだらの紐	ジュリアを殺したのは誰か？	?, kill, julia	roylott	○	○	○
悪魔の足	ブレンダを殺したのは誰か	?, kill, brenda	mortimer	×	○	○
	モーティマーを殺したのは誰か？	?, kill, mortimer	standale	○	○	○
同一事件	花婿はなぜ消えたか？	?, hide, hozma	windybank	○	○	○
背中の曲がった男	バークリはなぜ死んだのか？	berkeley, die, ?	apoplexia	×	○	○
僧坊荘園	ブラックンストール卿を殺したのは誰か？	?, kill, sir_eustace_brackenstall	jack_crocker	×	×	○
入院患者	ブレシントンを殺したのは誰か？	?, kill, blessington	elderly_man young_man helper_boy ※3人組の犯行	○	○	○
白銀号事件	白銀号を連れ出したのは誰か？	?, take, silver_blaze	john_straker	×	○	○

与えられた作品知識グラフに加え、  
常識知識グラフ=ConceptNetも追加



## <詳細>

- 作品知識グラフは2018年度野村総研のソリューションを利用\*

\*<https://challenge.knowledge-graph.jp/submissions/2018/tamura/submission>

- 作品知識グラフと常識知識グラフをリンク

- 作品に登場するEntityとConceptNetのEntityを紐付け1ホップ先までのTripleを収集
- 作品に登場するRelationとConceptNetのEntityを紐付け1ホップ先までのTripleを収集

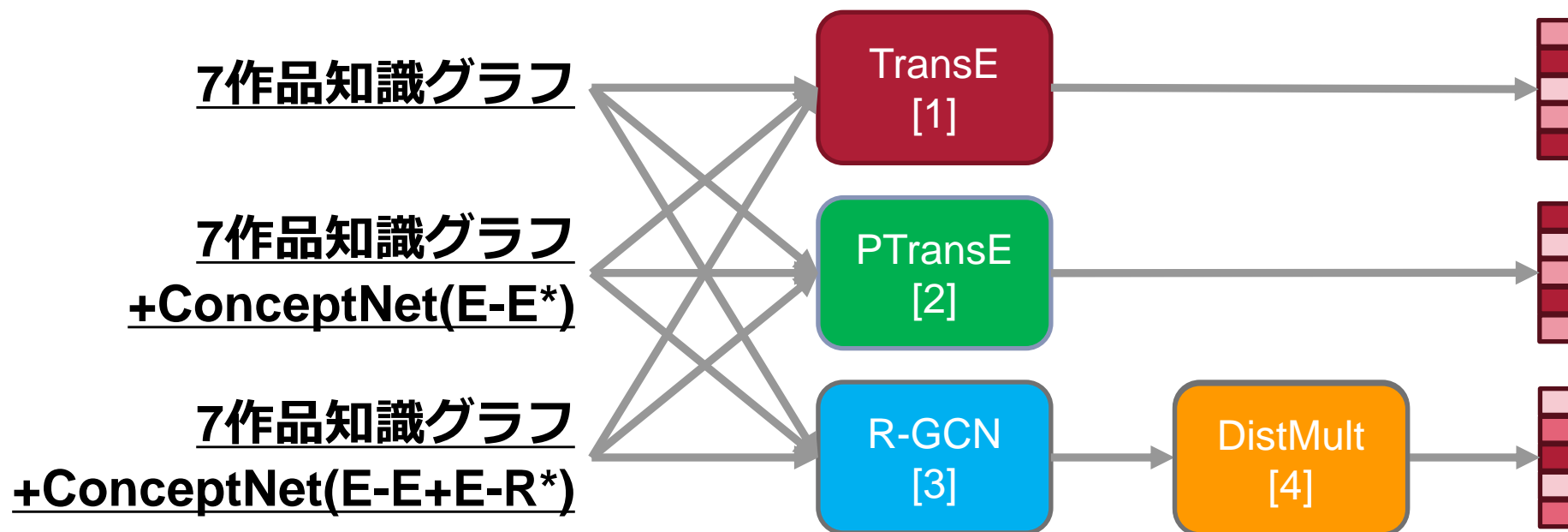
	まだらの紐	悪魔の足	同一事件	背中の曲がった男	踊る人形	僧坊荘園	白銀号事件	7作品知識グラフ	Concept Net
#Entity	277	597	655	389	253	347	446	438	2,272
#Rel	107	161	186	149	74	194	151	198	750
#Triple	596	794	798	563	390	497	561	734	4,847

複数知識グラフ間で共通の要素の  
埋め込みを共通化

<詳細>

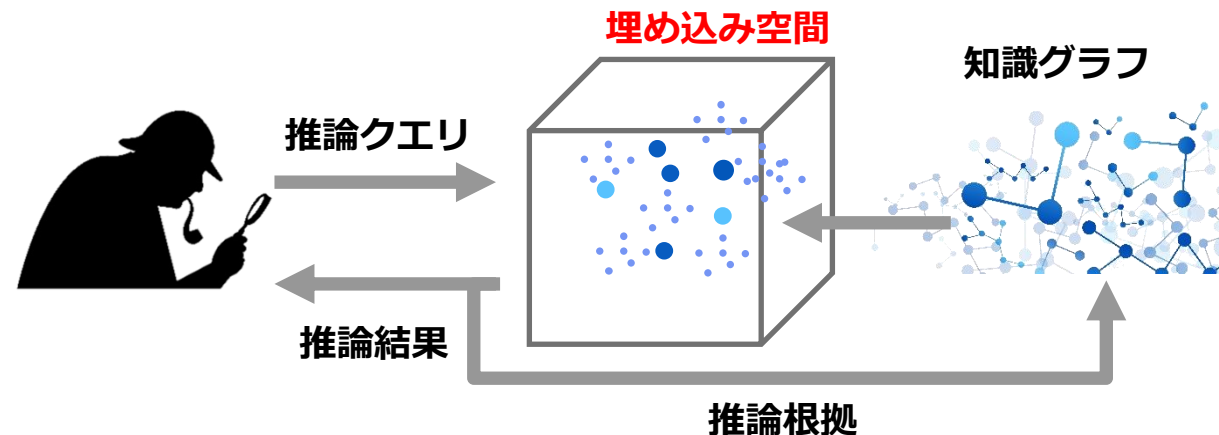
知識グラフ3種類x3手法で評価

知識グラフ埋め込み

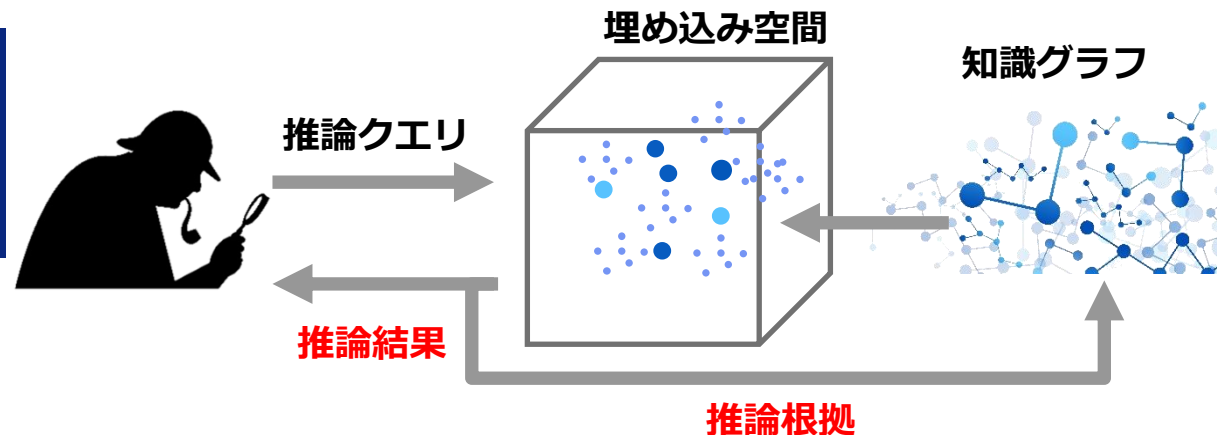


\*E-EはEntity間の  
埋め込みを共有

\*E-Rは作品のRelation  
ConceptNetのEntity間の  
埋め込みも共有



推論クエリの?の候補をランキングし、  
推論根拠を埋め込みから導出



## <詳細>

**推論：**埋め込み手法に応じたスコア関数で候補を評価

**推論根拠：**埋め込みまたはR-GCNから推論に寄与する部分グラフを導出

- ・埋め込みからの部分グラフ（正解の三つ組の迂回パス）の導出：XKE[5]
- ・R-GCNからの部分グラフの導出：GNNExplainer[6]



- 埋め込み手法に応じたスコア関数で候補をランキング
- 絞り込み①「作品内」：各作品のEntityに絞り込み
- 絞り込み②「登場人物内」：各作品の登場人物に絞り込み

## 登場人物リスト

まだらの紐	悪魔の足	同一事件	背中の曲がった男	僧坊荘園	入院患者	白銀号事件
julia	standale	sutherland_s_mother	morrison	jack_crocker	young_man	gypsy
helen	mortimer	the_horseman	nancy	stanley_hopkins	father_of_young_man	two_young_men
roylott	brenda	etheridge	berkeley	servant	russian_nobility	wife_of_john_straker
mother_of_helen	holmes	hozma	simpson	man_of_the_elderly	moderator_of_tobin	ned_hunter
sister	watson	sutherland	watson	lady_brackenstall	elderly_man	ned_hunter_and_two_young_men
mother_of_sister	round_hay	windybank	holmes	randall_gang	helper_boy	jockey_of_colonel_ross
holmes	owen	hardy	teddy	sir_eustace_brackenstall	blessington	edith_baxter
watson	george	watson	jane	holmes	holmes	silver_blaze
	doctor_richard	holmes	coachman	watson	watson	cyrus_brown
	porter	coworker	cook	theresa	percy_trevelyan	colonel_ross
	tin_miner	ball_people	murphy			fitzroy_simpson
	servant		henry			william_derbyshire_women
	former_wife					watson
						desborough
						william_derbyshire
						lord_backwater
						holmes
						stableman
						john_straker

作品によって優位な手法は異なるが、いずれかの手法で1位で犯人を当てる

<詳細>

まだらの紐、入院患者→R-GCN

悪魔の足(2)、僧坊荘園→いずれの手法でも1位

それ以外→ITransE/IPTransE

ConceptNetを組み合わせたほうがよい例も見られるが、なしでも当てられる例も多い

  ...根拠説明で対象とした手法

		正解が欠損→		○	×	○	×	○	×	○	×						
		まだらの紐		悪魔の足		同一事件		背中の曲がった男		僧坊荘園		白銀号事件		入院患者			
		?, kill, julia		?, kill, brenda		?, kill, mortimer		?, hide, hozma		berkeley, die, ?		?, kill, sir_eustace_bracken stall		?, take, silver_blaze		?, kill, blessington	
手法	KG	登場人物内	作品内	登場人物内	作品内	登場人物内	作品内	登場人物内	作品内	登場人物内	作品内	登場人物内	作品内	登場人物内	作品内	登場人物内	作品内
ITransE	KG	2	5	1	1	1	1	2	3-	1	1	2	1	1	1	2	2
	KG+ConceptNet (E-E)	2	2	2	2	1	1	3	3-	2	1	1	2	2	2	2	2
	KG+ConceptNet (E-E + E-R)	4	4	1	2	5	7	1	1-	30	1	1	3	3	2	2	2
IPTransE	KG	2	6	1	1	3	4	3	4-	1	2	2	1	1	3	13	13
	KG+ConceptNet (E-E)	3	3	3	3	1	1	3	3-	1	1	1	1	1	3	3	3
	KG+ConceptNet (E-E + E-R)	2	2	2	2	5	6	1	1-	67	3	3	1	1	4	7	7
R-GCN	KG	1	7	3	3	6	76	2	53-	9	1	1	3	4	1	46	46
	KG+ConceptNet (E-E)	5	154	4	99	1	4	2	55-	62	5	175	10	290	6	244	244
	KG+ConceptNet (E-E + E-R)	5	82	7	139	5	84	2	17-	267	5	66	3	40	3	40	40

作品によって優位な手法は異なるが、白銀号事件を除き1位で正解を当てる

<詳細>

同一事件→R-GCN

それ以外→ITransE/IPTransE

ConceptNetを組み合わせたほうがよい例が完全データの場合に比べて増加

		正解が欠損→		○	○	○	○	○	○	×	○	○					
		まだらの紐		悪魔の足		同一事件		背中の曲がった男		僧坊荘園		白銀号事件		入院患者			
		?, kill, julia		?, kill, brenda		?, kill, mortimer		?, hide, hozma		berkeley, die, ?		?, kill, sir_eustace_bracken stall		?, take, silver_blaze		?, kill, blessington	
手法	KG	登場人物内	作品内	登場人物内	作品内	登場人物内	作品内	登場人物内	作品内	登場人物内	作品内	登場人物内	作品内	登場人物内	作品内	登場人物内	作品内
ITransE	KG	2	5	5	6	2	2	5	12	-	-	1	1	5	5	3	3
	KG+ConceptNet (E-E)	3	6	4	4	2	2	3	3	-	-	2	2	6	6	4	4
	KG+ConceptNet (E-E + E-R)	2	2	2	2	3	4	2	2			1	1	8	8	3	4
IPTransE	KG	2	4	4	4	2	2	3	3			1	1	7	7	1	1
	KG+ConceptNet (E-E)	1	1	1	1	1	1	4	4			1	1	6	6	2	2
	KG+ConceptNet (E-E + E-R)	1	1	3	3	4	5	4	34			2	2	5	6	1	1
R-GCN	KG	7	264	7	311	8	516	1	4	-	-	2	2	16	415	3	371
	KG+ConceptNet (E-E)	7	267	3	116	10	576	8	607	-	-	3	113	10	228	5	213
	KG+ConceptNet (E-E + E-R)	1	20	6	164	2	20	2	56			7	261	13	228	7	224

まだらの紐、悪魔の足(1)、同一事件、僧坊荘園では1位で正解を当てる

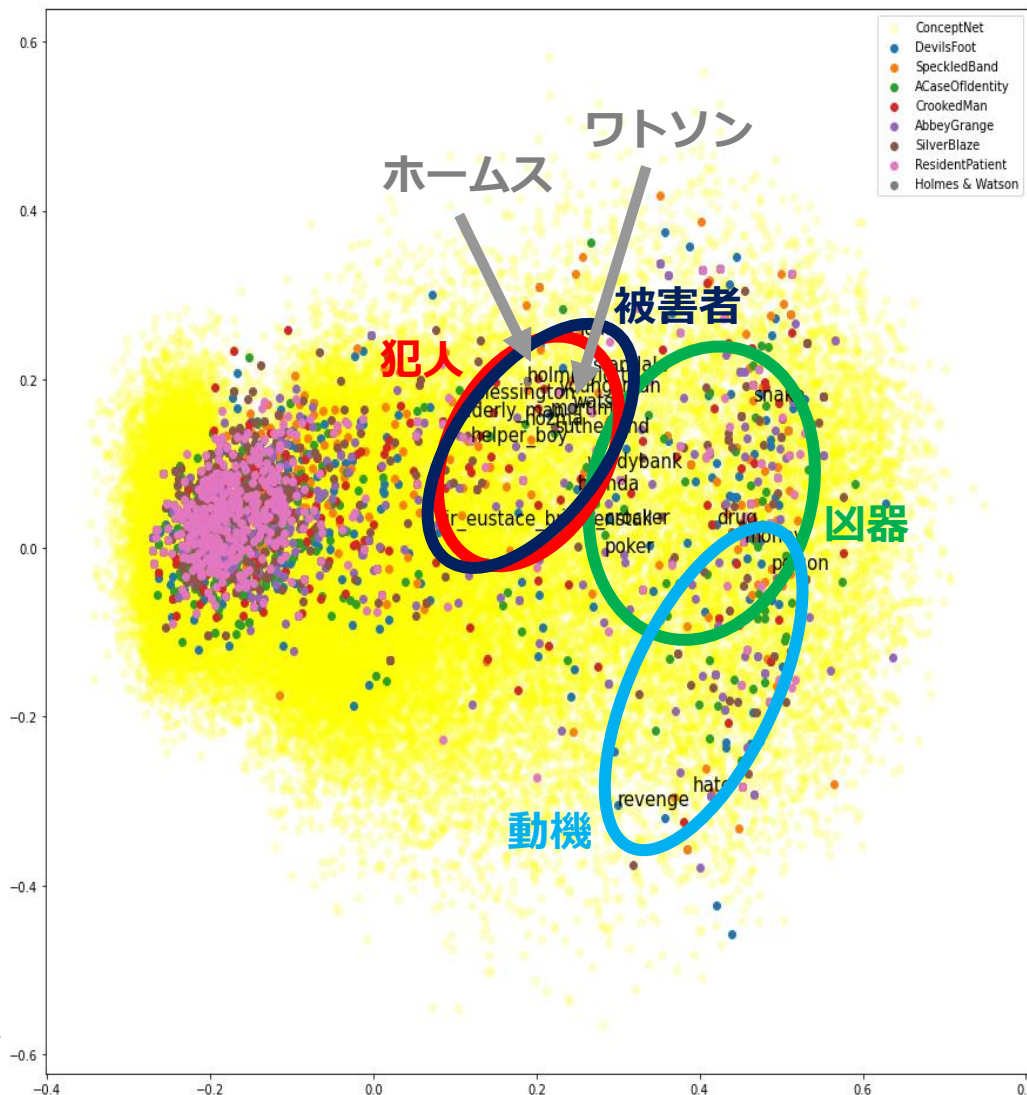
<詳細>

悪魔の足(2)、同一事件、僧坊荘園→R-GCN  
それ以外→ITransE/IPTransE

ConceptNetを組み合わせたほうがよい例が完全データの場合に比べて増加

		正解が欠損→		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
		まだらの紐		悪魔の足				同一事件		背中の曲がった男		僧坊荘園		白銀号事件		入院患者	
		?, kill, julia		?, kill, brenda		?, kill, mortimer		?, hide, hozma		berkeley, die, ?		?, kill, sir_eustace_bracken stall		?, take, silver_blaze		?, kill, blessington	
手法	KG	登場人物内	作品内	登場人物内	作品内	登場人物内	作品内	登場人物内	作品内	登場人物内	作品内	登場人物内	作品内	登場人物内	作品内	登場人物内	作品内
ITransE	KG	2	4	6	26	8	14	7	51	-	-	9	196	4	4	3	12
	KG+ConceptNet (E-E)	2	4	5	5	4	4	5	5	-	-	7	56	11	20	4	5
	KG+ConceptNet (E-E + E-R)	1	1	2	2	4	5	2	3			5	6	9	13	3	3
IPTransE	KG	2	2	3	4	8	17	5	5			7	46	7	9	2	4
	KG+ConceptNet (E-E)	2	3	1	1	5	6	5	5			7	32	7	7	4	5
	KG+ConceptNet (E-E + E-R)	1	1	2	2	6	8	1	2			5	37	6	7	4	27
R-GCN	KG	6	227	7	245	3	126	1	1	-	-	5	137	6	77	4	138
	KG+ConceptNet (E-E)	7	251	7	495	7	491	8	532			4	106	7	179	3	70
	KG+ConceptNet (E-E + E-R)	5	183	6	347	2	70	4	239			1	48	7	139	5	206

犯人、被害者のクラスタに対し、ConceptNetに現れる**凶器**、**動機**が関連



- ・ **ホームズ、ワトソン**は被害者、犯人の近くに存在

- ・ **犯人、被害者**は近い領域に存在し、その他Entityとは異なる領域に存在

- ・ **凶器**は犯人、被害者の比較的近くに存在し、**動機**はそれよりは少し離れた領域に存在

## 「まだらの紐」について、2種類の説明法で説明

### 1位を出したR-GCNに対応する説明

\*GNExplainer[6]による

順位	重要エッジ			重要度
	head	rel	tail	
1	watson	notsee	snake	0.7928901
2	helen	call	roylott	0.7843633
3	sister	include	julia	0.7458835
4	sister	include	helen	0.7421242
5	roylott	call	snake	0.7163633
6	snake	return	roylott	0.710008
7	snake	bite	roylott	0.7042671
8	doctor_of_stoke_moran	investigate	julia	0.6847599
9	watson	see	snake	0.6770099
10	villager_of_stoke_moran	escape	roylott	0.6750671



凶器(snake)や家族構成に着目

### 2位を出したITransEに対応する説明

\*XKE[5]による

スコア	パス
1.2589E-07	roylott-(live)-first_floor_of_one_building_of_mansion_of_roylott-(live)-julia
1.2589E-07	roylott-(live)-first_floor_of_one_building_of_mansion_of_roylott-(live)-roylott-(live)-first_floor_of_one_building_of_mansion_of_roylott-(live)-julia
1.18073E-07	roylott-(take)-money-(take)-roylott-(live)-first_floor_of_one_building_of_mansion_of_roylott-(live)-julia
1.18023E-07	roylott-(see)-ceiling-(see)-roylott-(live)-first_floor_of_one_building_of_mansion_of_roylott-(live)-julia
1.16624E-07	roylott-(live)-first_floor_of_one_building_of_mansion_of_roylott-(live)-roylott-(go)-mansion_of_roylott-(live)-julia
1.1617E-07	roylott-(call)-snake-(call)-roylott-(live)-first_floor_of_one_building_of_mansion_of_roylott-(live)-julia
1.15812E-07	roylott-(live)-first_floor_of_one_building_of_mansion_of_roylott-(live)-julia-(hear)-1881-11-30t03:00:00-(hear)-julia



間取りに着目

## 「まだらの紐」について、GNNExplainerでConceptNetの凶器、動機をスコアリング

### 凶器

head	relation	tail	スコア
1 metal_pipe	UsedFor	kill	0.380134
2 violence	UsedFor	kill	0.379413
3 gun	UsedFor	kill	0.3791
4 poisons	UsedFor	kill	0.379015
5 machine	UsedFor	kill	0.378773
19 以下略			



4位/19で正しい凶器を当てる

### 動機

head	relation	tail	スコア
1 kill	MotivatedByGoal	mean	0.38185
2 kill	MotivatedByGoal	stay_alive	0.381069
3 kill	MotivatedByGoal	angry	0.380119
4 kill	MotivatedByGoal	soldier	0.379631
5 kill	MotivatedByGoal	die	0.378362
6 kill	MotivatedByGoal	dead	0.378166
7 kill	MotivatedByGoal	evil	0.37778
8 kill	MotivatedByGoal	lunch	0.377672
9 kill	MotivatedByGoal	money	0.376137
10 kill	MotivatedByGoal	revenge	0.375407
11 kill	MotivatedByGoal	fool	0.375383
12 kill	MotivatedByGoal	being_raped	0
38 以下略			



9位/38でもっともらしい動機を当てる

## 「同一事件」について、2種類の説明法で説明

### 1位を出したITransEに対応する説明

#### \*XKE[5]による

スコア	パス
7.39375E-06	windybank-(equalsto)-hozma
7.39375E-06	windybank-(equalsto)-hozma-( <u>_equalsto</u> )-windybank-(equalsto)-hozma
1.00155E-06	windybank-(exist)-france-( <u>_exist</u> )-windybank-(equalsto)-hozma
1.9745E-07	windybank-(say)-420-( <u>_say</u> )-standale-(hear)-holmes-(find)-hozma
1.20501E-07	windybank-(sit)-chair-( <u>_sit</u> )-holmes-(find)-hozma

### 同じく1位を出したIPTransEに対応する説明

#### \*XKE[5]による

スコア	パス
2.31134E-05	windybank-(equalsto)-hozma
2.31134E-05	windybank-(equalsto)-father-in-law_of_sutherland-( <u>_equalsto</u> )-windybank-(equalsto)-hozma
5.08397E-07	windybank-(say)-128-( <u>_say</u> )-percy_trevelyan-(shouldvisit)-holmes-(find)-hozma
5.08397E-07	windybank-(say)-128-( <u>_say</u> )-percy_trevelyan-(wanttoconsult)-holmes-(find)-hozma
5.08397E-07	windybank-(say)-128-( <u>_say</u> )-percy_trevelyan-(wouldcome)-holmes-(find)-hozma

ウィンディバックとホズマが同一人物であることに着目



## 「白銀号事件」について、2種類の説明法で説明

### 1位を出したITransEに対応する説明

#### \*XKE[5]による

スコア	パス
2.8305E-06	john_straker-(hurt)-silver_blaze
2.8305E-06	john_straker-(hurt)-silver_blaze-(_hurt)-john_straker-(hurt)-silver_blaze
5.97527E-08	john_straker-(have)-1896-02-01t21:00:00-(_have)-fitzroy_simpson-(hide)-silver_blaze
5.95835E-08	john_straker-(hurt)-silver_blaze-(_deal)-cyrus_brown-(deal)-silver_blaze
5.95835E-08	john_straker-(hurt)-silver_blaze-(_enter)-holmes-(_follow)-cyrus_brown-(deal)-silver_blaze

### 同じく1位を出したIPTransEに対応する説明

#### \*XKE[5]による

スコア	パス
4.25865E-07	john_straker-(hurt)-silver_blaze
4.25865E-07	john_straker-(hurt)-silver_blaze-(_hurt)-cyrus_brown-(hurt)-silver_blaze
1.21439E-07	john_straker-(hurt)-silver_blaze-(_deal)-cyrus_brown-(nohurt)-silver_blaze
1.21439E-07	john_straker-(hurt)-silver_blaze-(_enter)-holmes-(_follow)-cyrus_brown-(nohurt)-silver_blaze
1.21439E-07	john_straker-(hurt)-silver_blaze-(_enter)-holmes-(canmeet)-cyrus_brown-(nohurt)-silver_blaze

ストレイカーが白銀号にけがをさせたことを起点として着目

「僧坊莊園」について、R-GCNについて説明

1位を出したR-GCNに対応する説明  
\*GNNExplainer[6]による

順位	重要エッジ			重要度
	head	rel	tail	
1	lady_brackenstall	trytohide	criminal	0.8278015
2	theresa	see	old_man	0.8006672
3	theresa	find	sir_eustace_brackenstall	0.7893999
4	jack_crocker	believe	holmes	0.7648007
5	jack_crocker	tie	lady_brackenstall	0.7597466



事件の要点であるブラックスストーン卿婦人の不可解な行動に着目

## 「僧坊莊園」について、GNNExplainerでConceptNetの凶器、動機をスコアリング

### 凶器

head	relation	tail	スコア
1 gun	UsedFor	kill	0.381017
2 metal_pipe	UsedFor	kill	0.380589
3 underground_area	UsedFor	kill	0.379987
4 machine_gun	UsedFor	kill	0.379389
5 machine	UsedFor	kill	0.379303
19 以下略			



2位/19で正しい凶器を当てる

### 動機

head	relation	tail	スコア
1 kill	MotivatedByGoal	soldier	0.382589
2 kill	MotivatedByGoal	die	0.3819
3 kill	MotivatedByGoal	revenge	0.381225
4 kill	MotivatedByGoal	lunch	0.379409
5 kill	MotivatedByGoal	angry	0.378732
6 kill	MotivatedByGoal	money	0.37781
7 kill	MotivatedByGoal	fool	0.37764
8 kill	MotivatedByGoal	evil	0.377372
9 kill	MotivatedByGoal	stay_alive	0.376953
10 kill	MotivatedByGoal	dead	0.376933
11 kill	MotivatedByGoal	mean	0.376143
12 kill	MotivatedByGoal	need_to_eat	0.375682
13 kill	MotivatedByGoal	non_violent_world	0



9位/38でもっともらしい動機を当てる

- 本研究は、JST、CREST、J181401085の支援を受けたものである。

- [1] Bordes, A., Usunier, N., Garcia-Duran, A., Weston, J., & Yakhnenko, O., Translating embeddings for modeling multi-relational data, In Advances in neural information processing systems, pp. 2787-2795, 2013.
- [2] Lin, Y., Liu, Z., Luan, H., Sun, M., Rao, S., & Liu, S., Modeling Relation Paths for Representation Learning of Knowledge Bases, In Proceedings of the 2015 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing, pp. 705-714, 2015.
- [3] Schlichtkrull, M., Kipf, T. N., Bloem, P., Van Den Berg, R., Titov, I., & Welling, M. (2018, June). Modeling relational data with graph convolutional networks. In European Semantic Web Conference (pp. 593-607). Springer, Cham.
- [4] Bishan Yang, Wen-tau Yih, Xiaodong He, Jianfeng Gao, and Li Deng. 2015. Embedding entities and relations for learning and inference in knowledge bases. The 3rd International Conference on Learning Representations.
- [5] Gusmão, A. C., Correia, A. H. C., De Bona, G., & Cozman, F. G., Interpreting Embedding Models of Knowledge Bases: A Pedagogical Approach, ICML Workshop on Human Interpretability in Machine Learning (WHI 2018), 2018.
- [6] Ying, Z., Bourgeois, D., You, J., Zitnik, M., & Leskovec, J. (2019). Gnnexplainer: Generating explanations for graph neural networks. In Advances in neural information processing systems (pp. 9244-9255).

## ■ 応募フォーム

### ● 公開の可否：

☐ 公開してよい

☐ 非公開とする

### ● 公開形式：

☐ ナレッジグラフ推論チャレンジのサイトで公開

☐ 独自のサイトで公開してリンクを希望

## ■ 応募したプログラム、データ等

### ● 公開の可否：

☐ 公開してよい

☐ 非公開とする

