

第3回ナレツジグラフ推論チャレンジ2020

「ナレツジグラフ埋め込みに基づく犯人探し」



2021年3月16日
株式会社KDDI総合研究所
黒川 茂莉

- 推論の方針
- 推論方法
- 推論結果
- 推論根拠

- 謝辞
- 参考文献



"I say now, as I said then, that a man should keep his little brain-attic stocked with all the furniture that he is likely to use, and the rest he can put away in the lumber-room of his library, where he can get it if he wants it."

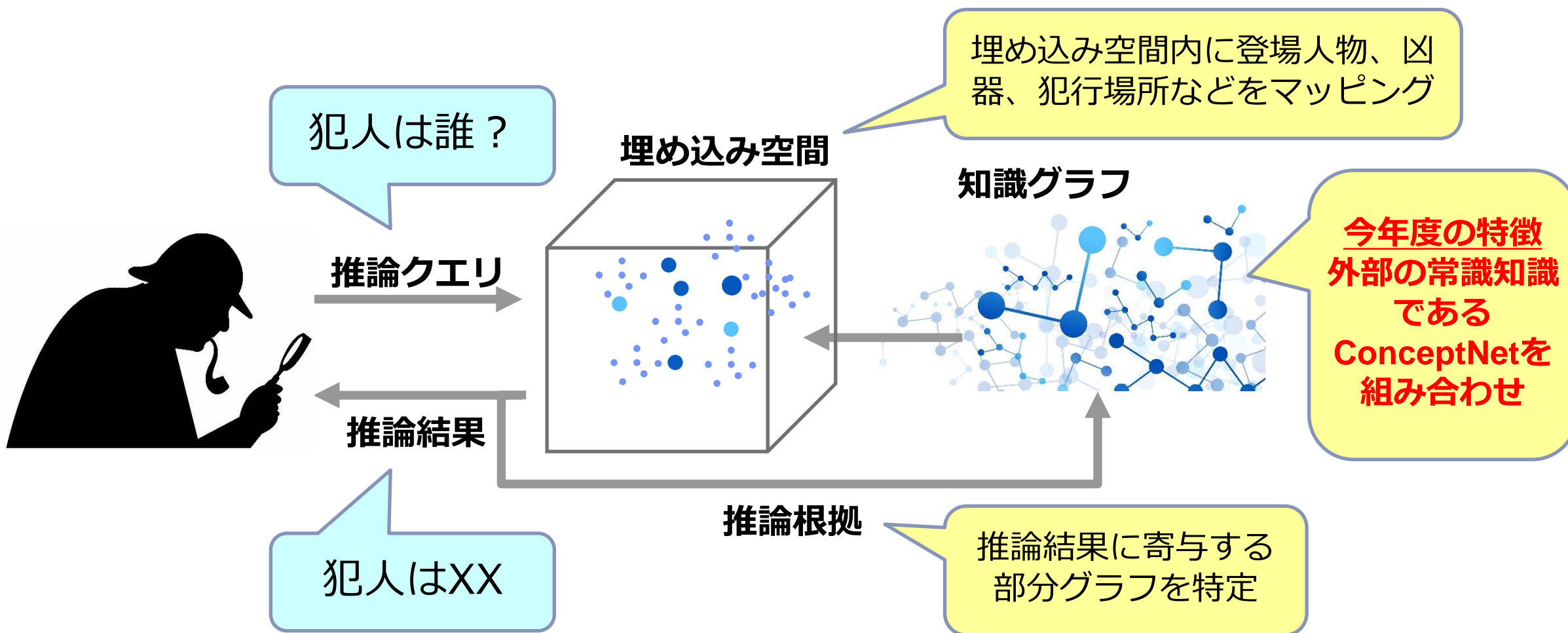
(THE FIVE ORANGE PIPS)

「あのときと同じように言わせてもらおうと、人間が頭脳という屋根裏の小部屋にいつも置いておかねばならぬのは、よく使う道具だけ、それ以外は書斎という物置に片づけておいて、入り用の際にそこへ取りに行けばいい。」

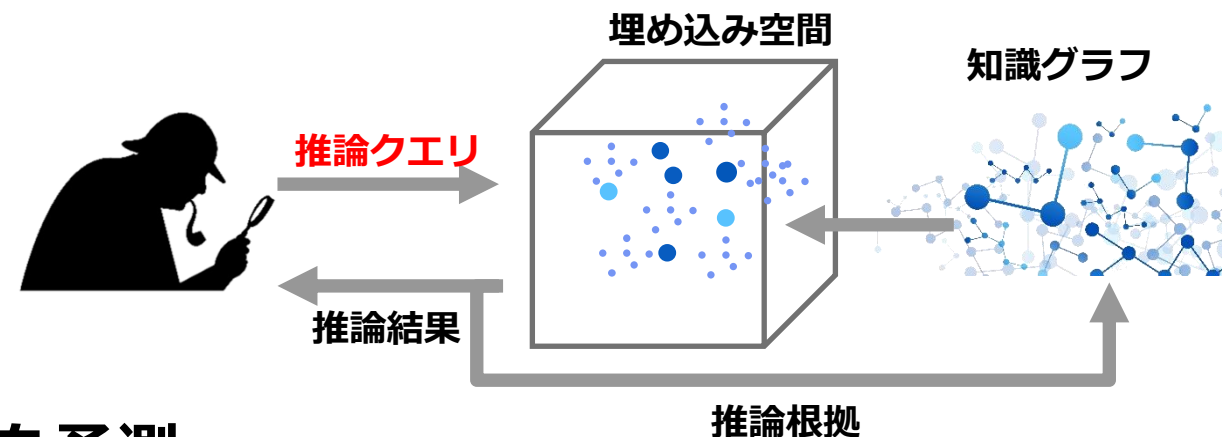
(橙の種五粒)

出典: https://www.aozora.gr.jp/cards/000009/files/57322_57272.html

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

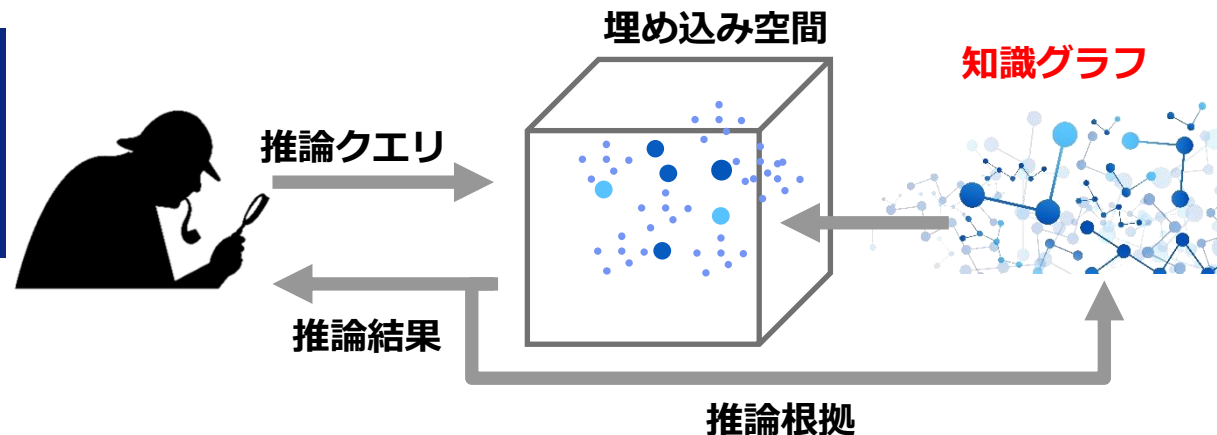


<詳細>

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

- 多言語で構築された常識知識に関する知識グラフ
- オープンデータとして公開 <https://conceptnet.io/>
- 含まれる三つ組例 : kill motivated_by revenge

en kill

An English term in ConceptNet 5.8

Sources: Open Mind Common Sense contributors, DBPedia 2015, Verbosity players, German Wiktionary, English Wiktionary, French Wiktionary, and Open Multilingual WordNet
View this term in the API

[Documentation](#)

[FAQ](#)

[Chat](#)

[Blog](#)

kill requires...

- en get a weapon →
- en have a weapon →
- en murder them →

Ways of kill

- en assassinate (v, social) →
- en brain (v, contact) →
- en butcher (v, contact) →

Synonyms

- ar قَتَلَ (v, contact) →
- ar قَتَلَ (v, change) →
- ar قَتَلَ (v, contact) →

Related terms

- en murder →
- en death →
- en slay →

kill is a subevent of...

- en you feel remorse →
- en someone or something dies →
- en shoot →

Things used for kill

- en a gun →
- en a weapon →
- en bomb (n, artifact) →

English

kill is motivated by...

- en revenge →
- en defend yourself →
- en money →

Things capable of kill

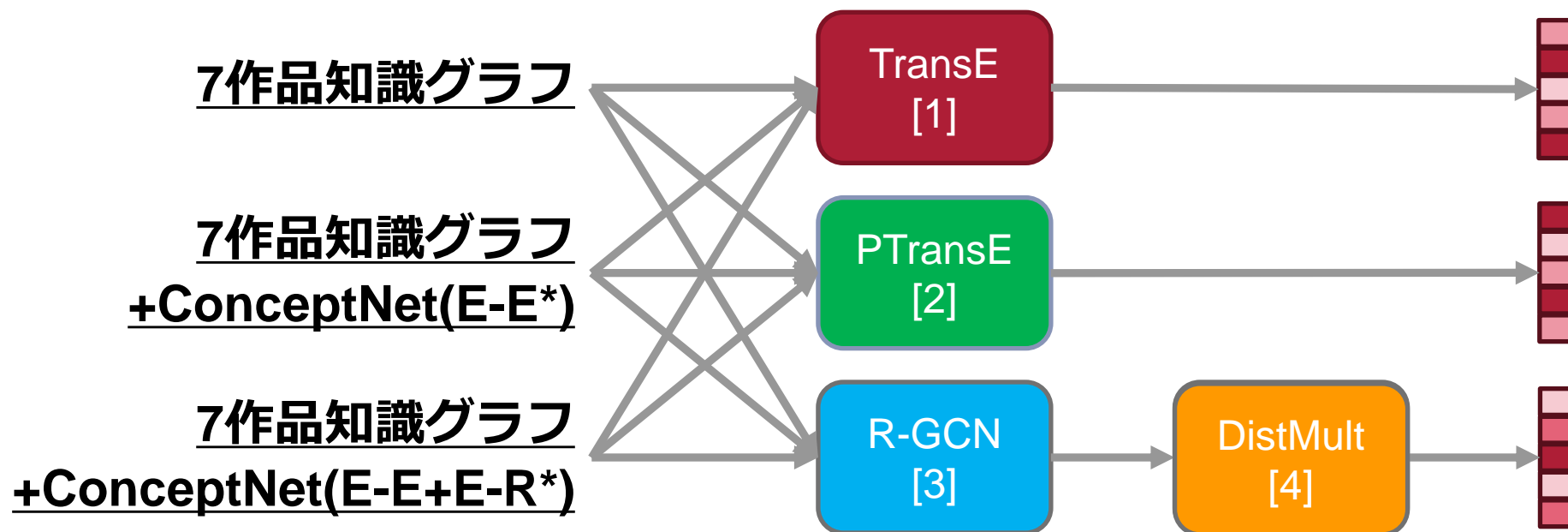
- en Cancer →
- en Poisons →
- en a killer →

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>

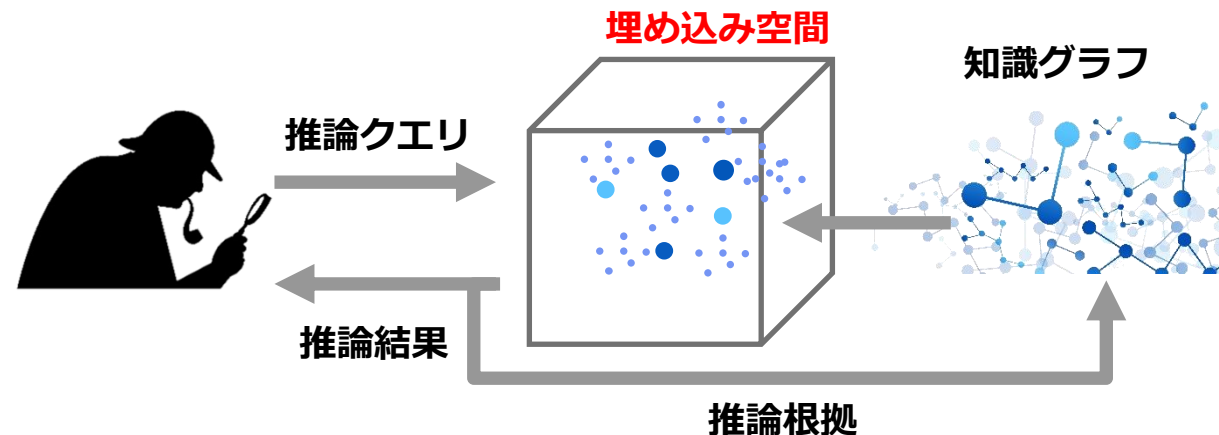
知識グラフ3種類x3手法で評価

知識グラフ埋め込み

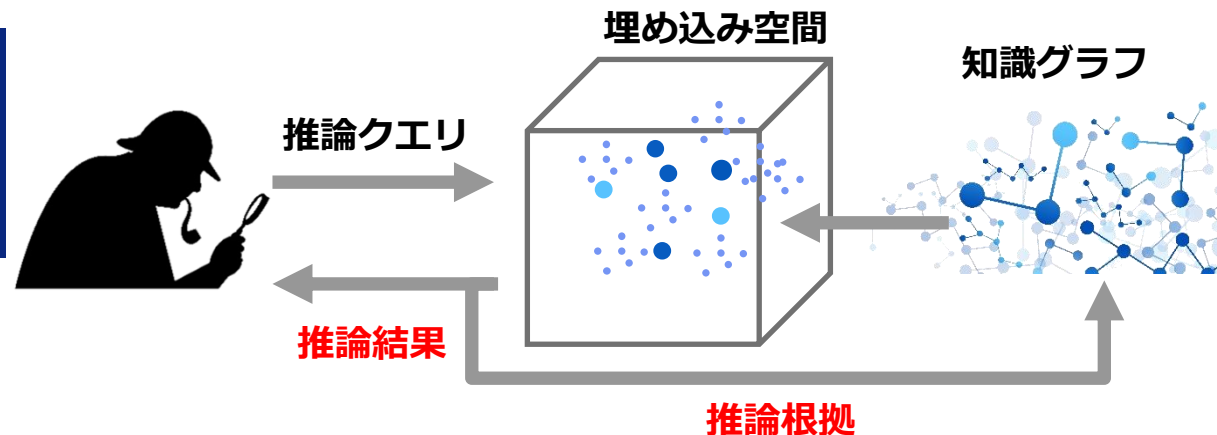


*E-EはEntity間の
埋め込みを共有

*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：GNNEExplainer[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	2	2	
	KG+ConceptNet (E-E)	2	2	2	2	1	1	3	3-	2	1	1	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	
IPTransE	KG	2	6	1	1	3	4	3	4-	1	2	2	1	1	3	13	
	KG+ConceptNet (E-E)	3	3	3	3	1	1	3	3-	1	1	1	1	1	3	3	
	KG+ConceptNet (E-E + E-R)	2	2	2	2	5	6	1	1-	67	3	3	1	1	4	7	
R-GCN	KG	1	7	3	3	6	76	2	53-	9	1	1	3	4	1	46	
	KG+ConceptNet (E-E)	5	154	4	99	1	4	2	55-	62	5	175	10	290	6	244	
	KG+ConceptNet (E-E + E-R)	5	82	7	139	5	84	2	17-	267	5	66	3	40	3	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

 ...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	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

白銀号事件では犯人によって当てやすさが異なる

<詳細>

helper_boy は完全データと不完全データ(-10%)で1位で当てられている
elderly_manとyoung_manは同様に当てにくい

完全データ

?, kill, blessington		(犯人 : elderly_man)		(犯人 : young_man)		(犯人 : helper_boy)	
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
2	2	3	3	2	2	4	5
2	2	2	2	6	9	3	3
2	2	5	5	4	4	2	2
3	13	3	13	5	15	4	14
3	3	6	6	5	5	3	3
4	7	5	33	6	45	4	7
1	46	6	375	5	367	1	46
6	244	9	364	8	322	6	244
3	40	3	40	4	47	6	69

不完全データ(-10%)

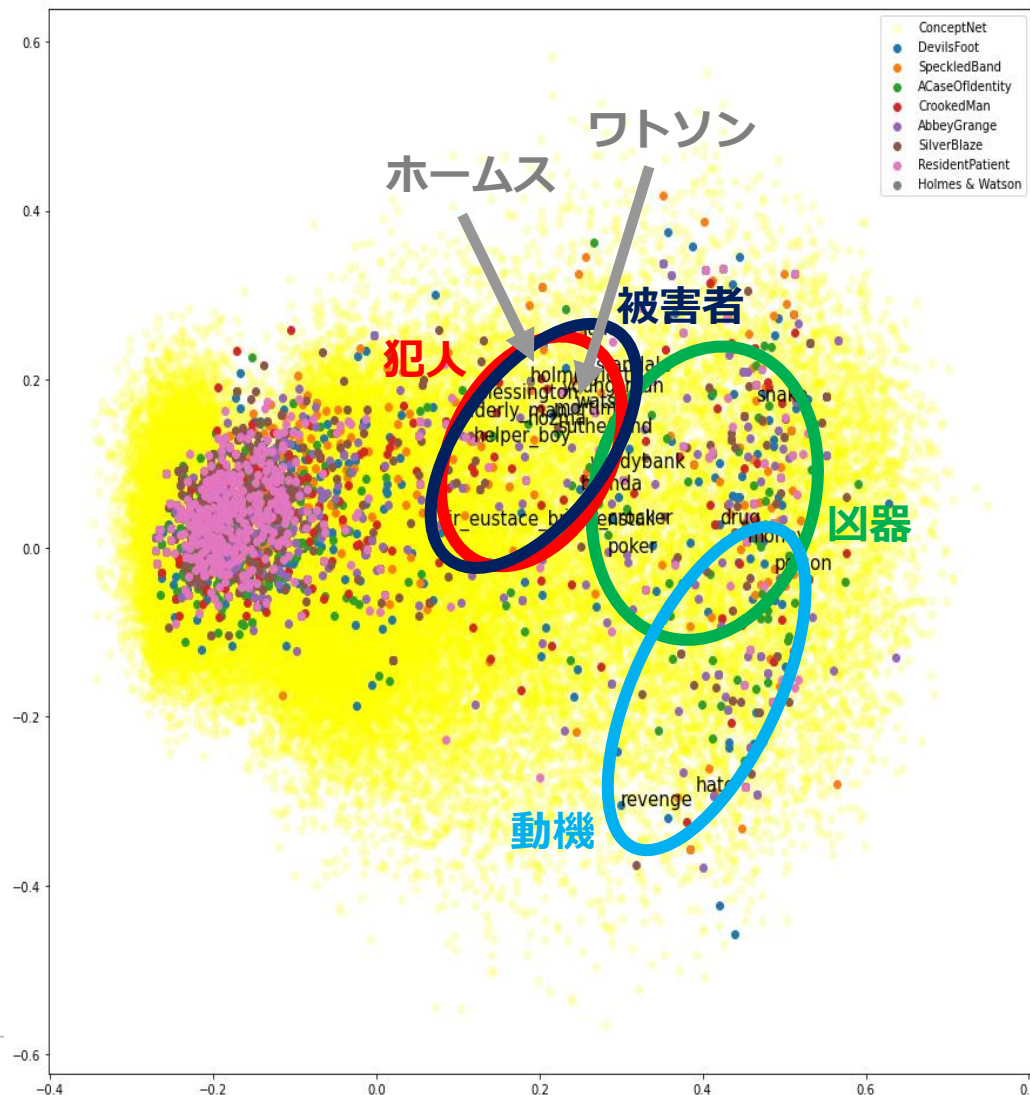
?, kill, blessington		(犯人 : elderly_man)		(犯人 : young_man)		(犯人 : helper_boy)	
登場人物内	作品内	登場人物内	作品内	登場人物内	作品内	登場人物内	作品内
3	3	3	3	6	8	5	5
4	4	4	4	5	5	6	12
3	4	3	4	6	15	4	7
1	1	4	5	3	3	1	1
2	2	5	5	6	8	2	2
1	1	5	6	6	10	1	1
3	371	5	423	4	416	3	371
5	213	5	213	7	320	6	224
7	224	7	224	8	228	9	232

不完全データ(-25%)

?, kill, blessington		(犯人 : elderly_man)		(犯人 : young_man)		(犯人 : helper_boy)	
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
3	12	3	12	5	24	8	212
4	5	4	5	5	14	6	71
3	3	3	3	8	78	5	37
2	4	3	6	6	14	2	4
4	5	4	5	5	8	6	33
4	27	4	27	8	178	7	166
4	138	6	254	8	385	4	138
3	70	5	315	7	368	3	70
5	206	5	206	6	209	9	215

...根拠説明で対象とした手法

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

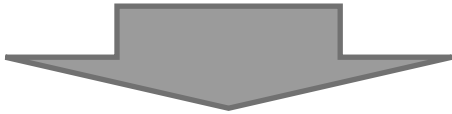


- ・ **ホームズ、ワトソン**は被害者、犯人の近くに存在
- ・ **犯人、被害者**は近い領域に存在し、その他Entityとは異なる領域に存在
- ・ **凶器**は犯人、被害者の比較的近くに存在し、**動機**はそれよりは少し離れた領域に存在

「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

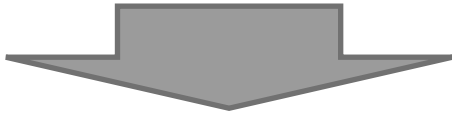
順位	重要エッジ			重要度
	head	rel	tail	
1	watson	notsee	snake	0.7928901
2	helen	call	roylott	0.7843633
3	sister	include	julia	0.7458835
4	sister	include	helen	0.7421242
5	roylott	call	snake	0.7163633
6	snake	return	roylott	0.710008
7	snake	bite	roylott	0.7042671
8	doctor_of_stoke_moran	investigate	julia	0.6847599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

「まだらの紐」の説明について、完全データと不完全データ(-10%)で比較

[完全データ]

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)-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



間取りに着目
(機会寄りの解釈)



着目点が変化

[不完全データ(-10%)]

1位を出したIPTransEに対応する説明

*XKE[5]による

スコア	パス
8.11E-08	roylott-(_meet)-helen-(go)-house_of_holmes-(_go)-helen-(return)-julia
7.53E-08	roylott-(_meet)-helen-(go)-house_of_holmes-(_come)-helen-(return)-julia
6.53E-08	roylott-(_meet)-helen-(come)-house_of_holmes-(_come)-helen-(return)-julia
5.17E-08	roylott-(go)-death_day_of_julia-(_return)-helen-(return)-julia
4.86E-08	roylott-(go)-death_day_of_julia-(_meet)-helen-(return)-julia



Juliaの死亡日の犯人の動向に着目
(状況証拠寄りの解釈)

「悪魔の足」の説明について、完全データと不完全データ(-10%)で比較

[事件1]

1位を出したIPTransEに対応する説明

*XKE[5]による

スコア	パス
8.91E-08	mortimer-(equalto)-victim_of_case_2-(equalto)-mortimer-(meet)-standale-(love)-brenda
5.70E-08	mortimer-(say)-304-(say)-holmes-(investigate)-table-(sit)-brenda
5.51E-08	mortimer-(say)-304-(say)-holmes-(investigate)-table-(stand)-brenda
5.37E-08	mortimer-(say)-136-(think)-holmes-(investigate)-table-(sit)-brenda
5.25E-08	mortimer-(say)-136-(think)-holmes-(investigate)-table-(stand)-brenda



犯人が事件2の被害者であること
(事件2とのつながり) に着目

[事件2]

1位を出したIPTransEに対応する説明

*XKE[5]による

スコア	パス
6.34E-07	standale-(say)-422-(say)-standale-(meet)-mortimer
3.81E-07	standale-(meet)-mortimer-(meet)-standale-(meet)-mortimer
3.79E-07	standale-(meet)-mortimer
3.30E-07	standale-(have)-former_wife-(have)-standale-(meet)-mortimer
2.98E-07	standale-(equalto)-explorer-(equalto)-standale-(meet)-mortimer



犯人と被害者の関係性に着目

「悪魔の足」について、GNNExplainerでConceptNetの凶器、動機をスコアリング

[事件1]

凶器	head	relation	tail	スコア
	1 sword	UsedFor	kill	0.382507
	2 bomb	UsedFor	kill	0.378007
	3 gun	UsedFor	kill	0.374582
	4 bullet	UsedFor	kill	0.374553
	5 poison	UsedFor	kill	0.374078

5位/19で正しい凶器を当てる

動機	head	relation	tail	スコア
	1 kill	MotivatedByGoal	evil	0.384326
	2 kill	MotivatedByGoal	lunch	0.380652
	3 kill	MotivatedByGoal	die	0.378907
	4 kill	MotivatedByGoal	money	0.37761
	5 kill	MotivatedByGoal	fool	0.377581

4位/38で正しい動機を当てる

[事件2]

凶器	head	relation	tail	スコア
	1 hockey_puck	UsedFor	kill	0.385576
	2 machine_gun	UsedFor	kill	0.381625
	3 violence	UsedFor	kill	0.380703
	4 poison	UsedFor	kill	0.380056
	5 guns	UsedFor	kill	0.380027

4位/19で正しい凶器を当てる

動機	head	relation	tail	スコア
	1 kill	MotivatedByGoal	lunch	0.378346
	2 kill	MotivatedByGoal	fool	0.378065
	3 kill	MotivatedByGoal	money	0.377686
	4 kill	MotivatedByGoal	revenge	0.377475
	5 kill	MotivatedByGoal	soldier	0.377367

4位/38で正しい動機を当てる

「同一事件」について、XKE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



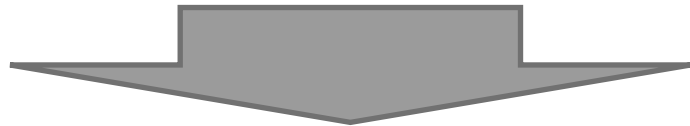
ウィンディバックとホズマが同一人物であることに着目

「同一事件」について、2種類の説明法で説明

2位を出したITransEに対応する説明

*XKE[5]による

スコア	パス
1.92E-05	windybank-(equalsto)-hozma
1.92E-05	windybank-(equalsto)-father-in-law_of_sutherland-(_equalsto)-windybank-(equalsto)-hozma
2.24E-07	windybank-(say)-419-(_say)-standale-(hear)-holmes-(find)-hozma
2.20E-07	windybank-(say)-125-(_say)-percy_trevelyan-(visit)-holmes-(find)-hozma
2.18E-07	windybank-(say)-125-(_say)-percy_trevelyan-(shouldvisit)-holmes-(find)-hozma

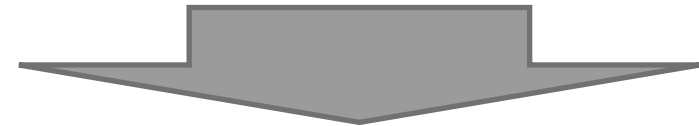


ウィンディバックとホズマが同一人物である
ことに着目

1位を出したR-GCNに対応する説明

*GNNEExplainer[6]による

順位	重要エッジ			重要度
	head	rel	tail	
1	sutherland	notworry	windybank	0.88331
2	sutherland	getengaged	hozma	0.874116 4
3	sutherland	believe	hozma	0.840619
4	sutherland	unforgettable	hozma	0.834437 7
5	sutherland	love	hozma	0.833752 8




サザーランド嬢とホズマの信頼関係に着目
(ホズマの機会に着目)

「僧坊莊園」について、GNNExplainerで説明

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ンストーン卿婦人の隠蔽行動に着目
(その他、犯行の周辺状況にも着目)

「僧坊莊園」について、XKE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
1.90E-07	jack_crocker-(meet)-330-(_meet)-theresa-(see)-old_man-(hit)-sir_eustace_brackenstall
1.87E-07	jack_crocker-(disguise)-death_of_sir_eustace_brackenstall-(_disguise)-theresa-(see)-old_man-(hit)-sir_eustace_brackenstall
1.87E-07	jack_crocker-(disguise)-death_of_sir_eustace_brackenstall-(_upset)-criminal-(equalto)-old_man-(hit)-sir_eustace_brackenstall
1.87E-07	jack_crocker-(hate)-sir_eustace_brackenstall-(_bebeaten)-lady_brackenstall-(_notsilence)-old_man-(hit)-sir_eustace_brackenstall
1.87E-07	jack_crocker-(hate)-sir_eustace_brackenstall-(_bebeaten)-lady_brackenstall-(_tie)-old_man-(hit)-sir_eustace_brackenstall

1位を出したIPTransEに対応する説明
*XKE[5]による

スコア	パス
9.71E-08	jack_crocker-(meet)-330-(_meet)-theresa-(see)-old_man-(hit)-sir_eustace_brackenstall
9.09E-08	jack_crocker-(disguise)-death_of_sir_eustace_brackenstall-(_disguise)-theresa-(see)-old_man-(hit)-sir_eustace_brackenstall
9.09E-08	jack_crocker-(disguise)-death_of_sir_eustace_brackenstall-(_upset)-criminal-(equalto)-old_man-(hit)-sir_eustace_brackenstall
9.09E-08	jack_crocker-(hate)-sir_eustace_brackenstall-(_bebeaten)-lady_brackenstall-(_notsilence)-old_man-(hit)-sir_eustace_brackenstall
9.09E-08	jack_crocker-(hate)-sir_eustace_brackenstall-(_bebeaten)-lady_brackenstall-(_tie)-old_man-(hit)-sir_eustace_brackenstall

事件の前後状況およびブラックストーン卿婦人が暴行を受けていた事実（動機）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


「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傷つけたこと（直接の死因）に着目

「白銀号事件」の説明について、完全データと不完全データ(-10%)で比較

[完全データ]

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



ストレイカーが白銀号に傷つけたことに着目

[不完全データ(-10%)]

5位を出したITransEに対応する説明

*XKE[5]による

スコア	パス
5.24E-08	john_straker-(_lookfor)-edith_baxter-(bring)-1896-02-01t21:00:00-(_go)-gypsy-(notkidnap)-silver_blaze
5.24E-08	john_straker-(_lookfor)-wife_of_john_straker-(lookfor)-silver_blaze-(_have)-gypsy-(notkidnap)-silver_blaze
5.24E-08	john_straker-(_lookfor)-wife_of_john_straker-(lookfor)-silver_blaze-(_notkidnap)-gypsy-(notkidnap)-silver_blaze
5.24E-08	john_straker-(notexist)-116-(_notexist)-silver_blaze-(_have)-gypsy-(notkidnap)-silver_blaze
5.24E-08	john_straker-(notexist)-116-(_notexist)-silver_blaze-(_notkidnap)-gypsy-(notkidnap)-silver_blaze
3.39E-08	john_straker-(nothave)-good_relation-(_nothave)-cyrus_brown-(deal)-silver_blaze



白銀号とジプシーの関わりに着目
(ストレイカーが白銀号を傷つけたことは最後のほうで明かされ、不完全データだと取り込まれない)

「入院患者」について、犯人ごとにXKEで説明

3位を出した Elderly_man(IPTransE)に対する 説明

スコア	パス
6.10E-09	elderly_man-(tie)-blessington-(have)-pistol-(have)-blessington
6.10E-09	elderly_man-(tie)-blessington-(go)-examination_room-(go)-blessington
6.10E-09	elderly_man-(tie)-blessington-(equalto)-patients_and_living_person-(equalto)-blessington
6.10E-09	elderly_man-(tie)-blessington-(tie)-young_man-(tie)-blessington
6.10E-09	elderly_man-(tie)-blessington



ブレッシントンを縛ったことに
着目

3位を出した Young_man(IPTransE)に対する 説明

スコア	パス
5.30E-09	young_man-(stay)-blessington_room-(stay)-elderly_man-(enter)-examination_room-(go)-blessington
7.88E-09	young_man-(stay)-blessington_room-(go)-percy_trevelyan-(say)-047-(say)-blessington
4.48E-09	young_man-(smoke)-cigar-(smoke)-elderly_man-(enter)-examination_room-(go)-blessington
5.55E-09	young_man-(say)-107-(say)-young_man-(enter)-examination_room-(go)-blessington
1.22E-07	young_man-(say)-107-(say)-percy_trevelyan-(stop)-blessington



診察室周りでの関係者の接点に
着目

1位を出した Helper_boy(IPTransE)に対する 説明

スコア	パス
8.04E-08	helper_boy-(enter)-blessington_room-(go)-percy_trevelyan-(say)-047-(say)-blessington
3.42E-08	helper_boy-(stay)-blessington_room-(go)-percy_trevelyan-(say)-047-(say)-blessington
3.18E-08	helper_boy-(enter)-holmes-(go)-watson-(approach)-blessington
3.13E-08	helper_boy-(enter)-holmes-(go)-watson-(drag)-holmes-(approach)-blessington
3.13E-08	helper_boy-(enter)-holmes-(go)-watson-(visit)-holmes-(approach)-blessington



ブレッシントンの部屋に入った
状況に着目

- 知識グラフ埋め込みにより、多くの犯人をいずれかの手法で当てることができた
 - 正解データが欠損している不完全データ(-10%)でも白銀号事件以外は当てることができている
- ConceptNetと組み合わせることにより、特に不完全データの場合に推論の精度が向上したり、凶器や動機をそれなりに当てることができた
- 今後の課題
 - 可視化の結果からも、ConceptNetの知識との関連付けは不十分（埋め込み空間上はあまり混ざっていない）
 - 推論根拠となる部分グラフだけでなく、機会、動機、凶器などの因果の構造を取り出したい
 - 知識グラフの埋め込みは既知の知識に嘘がないことが前提となっているが、嘘を見破れるアルゴリズムも考えたい
 - 手法の選択手法も考えたい

- 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).

