

デザイン創造過程論 (4)

—類推2—

- 構造写像理論の実証
- 具体的な研究の例

構造写像理論の予測

- ベースの検索では、表層的類似性に基づく処理
- 検索されたベースの評価・ベースを用いた推論において、構造的類似性が用いられる

構造写像理論をめぐる実証的研究

- Holyoak & Koh (1987)

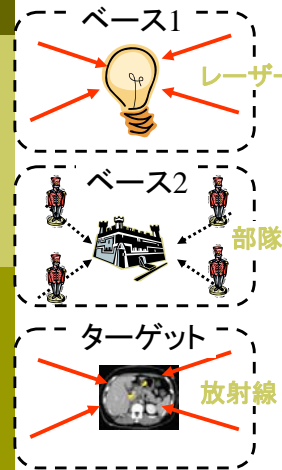
材料

ベース1 表層類似・構造類似	ベース2 表層非類似・構造類似
フィラメントの切れた電球がありました。レーザーをフィラメントに当てることで修理ができます。しかし、強いレーザーを当てるとガラスが割れます。そこで、レーザーを分割し、放射状にフィラメントへ当てました。	要塞に攻めようとしている将軍がいました。要塞への道には地雷が埋め込まれ、十分な兵力で攻めることが困難でした。そこで、将軍は軍を複数の部隊にわけ、複数のルートから、要塞へ攻め入りました。
ターゲット	
胃に腫瘍のある患者の主治医であると考えてください。腫瘍は放射線を当てることで破壊できます。しかし、放射線は正常な組織も傷つけます。どうすればよいでしょうか。	

構造写像理論をめぐる実証的研究

- Holyoak & Koh (1987)

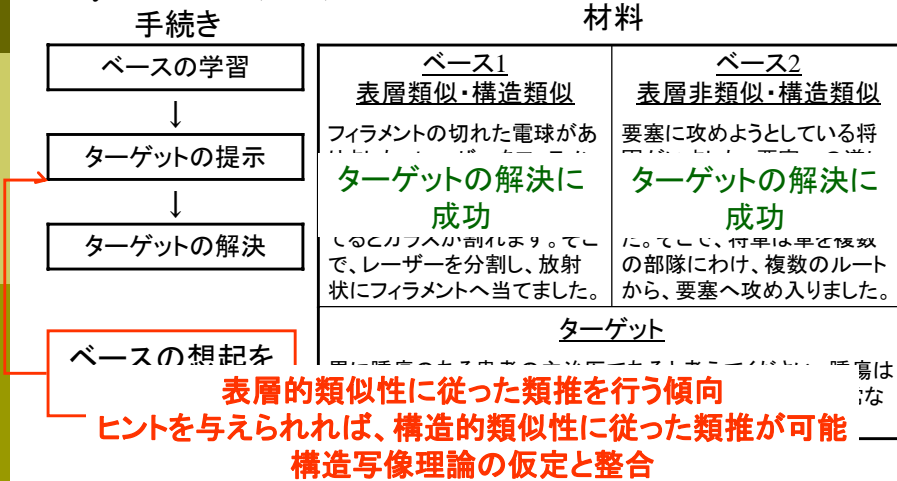
材料



ベース1 表層類似・構造類似	ベース2 表層非類似・構造類似
フィラメントの切れた電球がありました。レーザーをフィラメントに当てることで修理ができます。しかし、強いレーザーを当てるとガラスが割れます。そこで、レーザーを分割し、放射状にフィラメントへ当てました。	要塞に攻めようとしている将軍がいました。要塞への道には地雷が埋め込まれ、十分な兵力で攻めることが困難でした。そこで、将軍は軍を複数の部隊にわけ、複数のルートから、要塞へ攻め入りました。
ターゲット	
胃に腫瘍のある患者の主治医であると考えてください。腫瘍は放射線を当てることで破壊できます。しかし、放射線は正常な組織も傷つけます。どうすればよいでしょうか。	

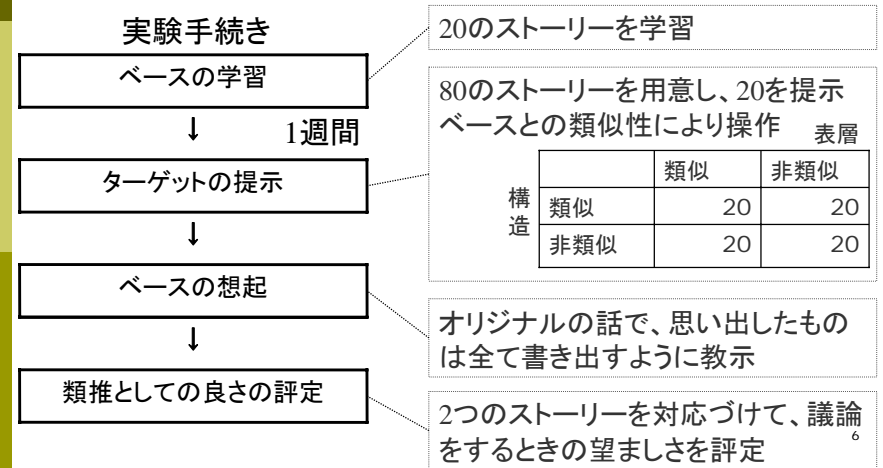
構造写像理論をめぐる実証的研究

- Holyoak & Koh (1987)



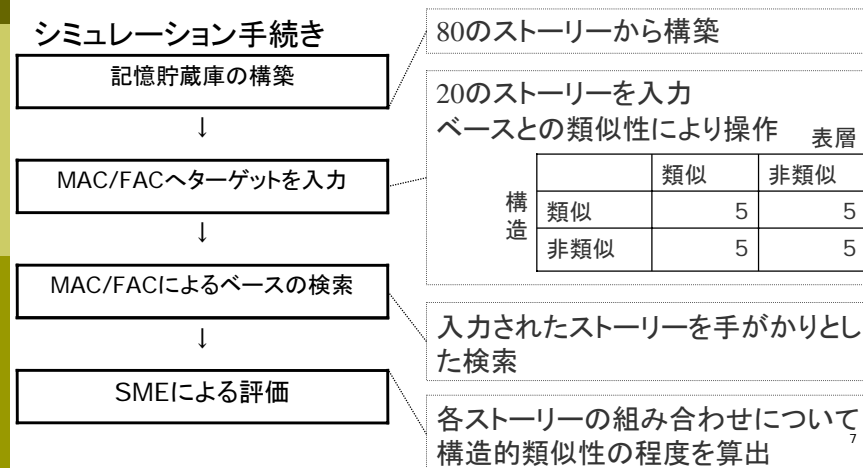
構造写像理論をめぐる実証的研究

- Gentner et al., (1993) による心理実験



構造写像理論をめぐる実証的研究

- Gentner et al., (1993) によるシミュレーション



構造写像理論をめぐる実証的研究

- 心理実験とシミュレーションともに

- 想起率(検索率)
 - 表層的類似性の高いベース > 構造的類似性の高いベース
- 評定値(SMEによる評価)
 - 構造的類似性の高いベース > 表層的類似性の高いベース

- MAC/FACモデルの仮定を支持

- ベースの初期の検索では表層的類似が影響
- 検索されたベースを評価する段階では構造的類似が影響

その他

□ 表層的類似と構造的類似の区別を示す研究

■ 類推のサブプロセスと類似性の種類

Bassok & Olseth (1995), Bassok et al., (1995), Clement & Gentner (1991),
Gentner et al., (1993), Markman (1997), Ross (1989), Wharton et al., (1994)

■ 作業記憶への負荷と類似性の種類

Markman & Gentner (1993), Morrison et al., (2004), Waltz et al., (1999, 2000)

■ 発達の段階と類似性の種類

Gentner & Rattermann (1998), Gentner & Toupin (1986),
Loewnstin & Gentner (2004)

9

現場での表層・構造

□ Dunbar (1995, 1997)

- 分子生物学の研究室におけるミーティングに参加
- ミーティングにおける発言から類推を抽出
- 表層的類似性の観点から分類

	同一生物	異なる生物	生物以外
抽出された類推 の事例数	42	57	2

表層的に類似 < 表層的に非類似

**現実世界では、表層的類似に惑わされることはない
構造のみ類似したベースを容易に利用
実験室と現実世界の差異**

10

現場での表層・構造

□ 実験室と現実世界の差異を示す研究

- 政治家やジャーナリストが使用する類推
 - Blanchette & Dunbar (2000, 2001)
- 数学教師が教授のために使用する類推
 - Richland et al., (2004)
- 多様な領域の科学者による類推
 - 植田 (2000)

□ 現場観察者の主張

- 構造的な類似の利用は難しいことではない
- 実験室研究における表層的類似の効果は、被験者に馴染みのないベースを学習させたから

11

これまでの研究のまとめ

□ 実験室と現場の矛盾

- 実験室研究
 - 構造写像理論の予測を支持する結果
- 現場観察
 - 構造写像理論とは整合しない結果
 - 構造的類似に気づくのは難しい

12

これまでの研究のまとめ

- 実験室・現場の双方における問題
 - 実験室研究
 - 実験室の中でベースとなる材料を学習
 - 被験者にとって馴染みの薄いベースを利用した類推
 - 現場志向的研究
 - 事後的な分析カテゴリの設定
 - 設定された分析カテゴリが理論の仮定を反映するか疑問

13

矛盾の解消へ

- 森田・三輪 (2005)
 - 実験室研究・現場志向的研究の中間的なアプローチ
 - 実験室を検討のフィールドとしつつも、被験者自身の日常経験を利用した類推を検討
 - 設定される指標に対する理論的根拠の重視
- 目的
 - 被験者へベースとなる事例を提示しない状況でMAC/FACモデルの仮定を評価
- アプローチ
 - ベースとなる事例を提示しない他は、Gentner et al., (1993)に同じ

14

ストーリーの例

- 日常経験を引き出す手がかり(ターゲットストーリー)

あるところに2つの国がありました。一方は民主国家で、他方は君主国家でした。民主国は国家としての歴史は浅いものの、経済力に優れ、情報産業が盛んでした。また、とても自由な国でした。君主国は古い歴史をもち、人口が多く、重工業が盛んでした。また、とても勤勉な国でもありました。民主国の国土は東方に位置し、君主国の国土は南方に位置していました。君主国の国土も民主国の国土も素晴らしい土地でした。民主国の国土は年中、涼しく、カラリとしていて、果物の生産が盛んでした。君主国の国土は冬でもそれほど寒くなく、海では一年中泳ぐことができ、穀物の生産が盛んでした。民主国は観光や貿易によって君主国の国土から利益を受けていました。君主国も同じように民主国との交流から利益を受けていました。お互いの利益から、民主国と君主国は何十年間も平和な関係にありました。しかし、君主国は民主国との交流を続けるうちに、民主国の国土を自国の物にすることを望みはじめました。そして、「民主国にミサイルを撃ちこんで攻撃すれば、その望みは叶うだろう」と考えました。ある年、君主国は民主国への攻撃を始めました。君主国の攻撃により、民主国の都市が破壊されました。ダメージを受けた民主国は攻撃をやめるように君主国に通達しました。しかし、民主国の国土を狙う君主国はそのような通達を無視しました。民主国は君主国を恨みました。その数ヶ月後、民主国は君主国に対して攻撃を始めました。お互いの攻撃によって戦争が始まりました。君主国の野望が戦争を導いたのです。

実験計画

- ターゲットストーリーの特徴による操作
 - 表層の特徴による操作
 - 2匹の動物が登場するストーリー (A: Animals)
 - 2つの国が登場するストーリー (C: Countries)
 - 構造的特徴による操作
 - 平和から争いへ至るストーリー (PW: Peace to War)
 - 争いから平和へ至るストーリー (WP: War to Peace)

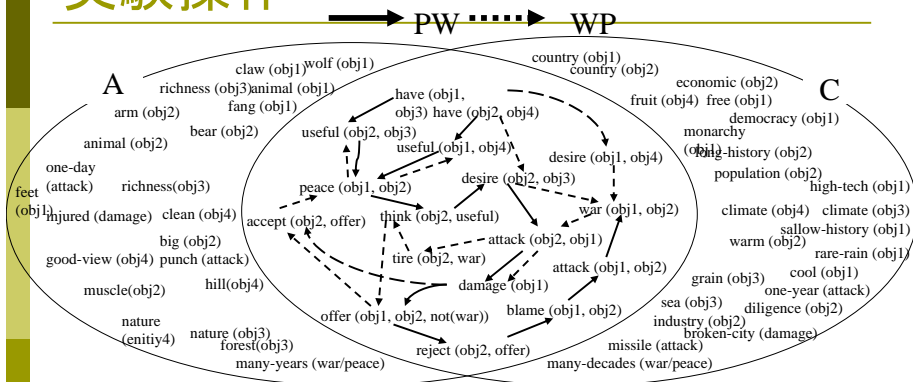
表層

構造

	A(動物)が提示	C(国)が提示
PW(平和から争い)が提示	A/PW群 (8名)	C/PW群 (9名)
WP(争いから平和)が提示	A/WP群 (8名)	C/WP群 (8名)

16

実験操作



2つの命題集合(A, C)を用意

各集合に固有の命題 (¬A∩C, A∩¬C): **属性**

2つの集合で共通する命題 (A∩C): **1階の関係**

1階の関係の結合: **高階の関係 (CAUSE)**

7

実験操作

ターゲットストーリーの操作

あるところに2つの国がありました。一方は民主国家で、他方は君主国家でした。民主国は国家としての歴史は浅いものの、経済力に優れ、情報産業が盛んでした。また、とても自由な国でした。君主国は古い歴史をもち、人口が多く、重工業が盛んでした。また、とても勤勉な国でもありました。民主国の国土は東方に位置し、君主国の国土は南方に位置していました。君主国の国土も民主国の国土も素晴らしい土地でした。民主国の国土は年中、涼しく、カラリとしていて、果物の生産が盛んでした。君主国の国土は冬でもそれほど寒くなく、海では一年中泳ぐことができ、穀物の生産が盛んでした。民主国は観光や貿易によって君主国の国土から利益を受けていました。君主国も同じように民主国との交流から利益を受けていました。お互いの利益から、民主国と君主国は何十年間も平和な関係にありました。しかし、君主国は民主国との交流を続けるうちに、民主国の国土を自国の物にすることを望みはじめました。そして、「民主国にミサイルを撃ちこんで攻撃すれば、その望みは叶うだろう」と考えました。ある年、君主国は民主国への攻撃を始めました。君主国の攻撃により、民主国の都市が破壊されました。ダメージを受けた民主国は攻撃をやめるように君主国に通達しました。しかし、民主国の国土を狙う君主国はそのような通達を無視しました。民主国は君主国を恨みました。その数ヶ月後、民主国は君主国に対して反撃を始めました。お互いの攻撃によって戦争が始まりました。君主国の野望が戦争を導いたのです。

実験操作

属性: 青色の語句に相当

1階の関係: 橙色の語句に相当

高階の関係: 1階の関係を述語としたセンテンスの順序に相当

あるところに2つの国がありました。一方は民主国家で、他方は君主国家でした。民主国は国家としての歴史は浅いものの、経済力に優れ、情報産業が盛んでした。また、とても自由な国でした。君主国は古い歴史をもち、人口が多く、重工業が盛んでした。また、とても勤勉な国でもありました。民主国の国土は東方に位置し、君主国の国土は南方に位置していました。君主国の国土も民主国の国土も素晴らしい土地でした。民主国の国土は年中、涼しく、カラリとしていて、果物の生産が盛んでした。君主国の国土は冬でもそれほど寒くなく、海では一年中泳ぐことができ、穀物の生産が盛んでした。民主国は観光や貿易によって君主国の国土から利益を受けていました。君主国も同じように民主国との交流から利益を受けていました。お互いの利益から、民主国と君主国は何十年間も平和な関係にありました。しかし、君主国は民主国との交流を続けるうちに、民主国の国土を自国の物にすることを望みはじめました。そして、「民主国にミサイルを撃ちこんで攻撃すれば、その望みは叶うだろう」と考えました。ある年、君主国は民主国への攻撃を始めました。君主国の攻撃により、民主国の都市が破壊されました。ダメージを受けた民主国は攻撃をやめるように君主国に通達しました。しかし、民主国の国土を狙う君主国はそのような通達を無視しました。民主国は君主国を恨みました。その数ヶ月後、民主国は君主国に対して反撃を始めました。お互いの攻撃によって戦争が始まりました。君主国の野望が戦争を導いたのです。

手続き

	提示材料	教示の概要
1. 検索フェーズ(20分間) ターゲットストーリーを手がかりとし、事例を想起	・ターゲットストーリー ・回答用紙(罫線による区切り)	提示される物語を読み、思い出した全てのエピソードを書き出してください
2. 評価フェーズ 想起した事例に対し、類推としての良さを評価(5段階評価)	・評価用紙	あるエピソードを利用して、他のエピソードについて思考をするときに役立つ度合いを評価してください
3. 説明フェーズ 想起事例の詳細を記述(分析におけるコーディングに利用)	・回答用紙(5cm × 15cmの欄)	想起したエピソードをできるだけ詳しく説明してください

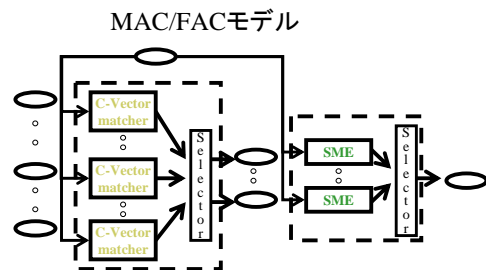
分析手法の概要

1. コーディング

自然言語で記述された事例の説明を命題表現に変換

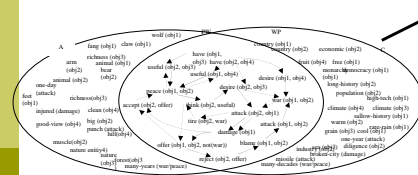
2. MAC/FACモデルのアルゴリズムによる類似度の計算

- a) 表層的類似度の算出: ベースの検索で利用される類似度(C-Vector)
- b) 構造的類似度の算出: ベースの評価に利用される類似度(SME)



コーディング

1. ターゲット中の各述語について自然言語との対応を定義



述語の定義リスト

- animal: 人を除く生物を表す単語が記述
- peace: 友好・仲良く・協力・手を組む・同盟・平和などの記述
- attack: 攻撃・殴る・ミサイル発射・侵略・批判・イジメなど、一方が他方に被害を被らせる記述
- have: 第1引数が利益となるものをもっていると推測される場合
- offer: 一方のオブジェクトが他方のオブジェクトに対して、何らかのコミュニケーション(謝る・提案するなど)をとった場合
- cause: それぞれのセンテンスについて因果関係を推測できる場合、時間的な前後関係を推測できる場合

コーディング

2. 被験者の記述と定義リストとの対応づけ

被験者の記述

森に2匹のトラがいた。お互いの縄張りを巡って対立していた。あるとき、一方のトラが森の動物から説得をうけた。その後、2匹は互いに尊重し合い、それぞれ暮らした。

述語の定義リスト

- animal: 人を除く生物を表す単語が記述
- peace: 友好・仲良く・協力・手を組む・同盟・平和などの記述
- attack: 攻撃・殴る・ミサイル発射・侵略・批判・イジメなど、一方が他方に被害を被らせる記述
- have: 第1引数が利益となるものをもっていると推測される場合
- offer: 一方のオブジェクトが他方のオブジェクトに対して、何らかのコミュニケーション(謝る・提案するなど)をとった場合
- cause: それぞれのセンテンスについて因果関係を推測できる場合、時間的な前後関係を推測できる場合

コーディング

2. 被験者の記述と定義リストとの対応づけ

被験者の記述

森に2匹のトラがいた。お互いの縄張りを巡って対立していた。あるとき、一方のトラが森の動物から説得をうけた。その後、2匹は互いに尊重し合い、それぞれ暮らした。

述語の定義リスト

- animal: 人を除く生物を表す単語が記述
- peace: 友好・仲良く・協力・手を組む・同盟・平和などの記述
- attack: 攻撃・殴る・ミサイル発射・侵略・批判・イジメなど、一方が他方に被害を被らせる記述
- have: 第1引数が利益となるものをもっていると推測される場合
- offer: 一方のオブジェクトが他方のオブジェクトに対して、何らかのコミュニケーション(謝る・提案するなど)をとった場合
- cause: それぞれのセンテンスについて因果関係を推測できる場合、時間的な前後関係を推測できる場合

コーディング

```

((many-tree turf1) :name prop1)
((many-tree turf2) :name prop2)
((animal tiger1) :name prop3)
((animal tiger1) :name animal2)
((animal animal1) :name animal3)
((have tiger1 turf1) :name have1)
((have tiger2 turf2) :name have2)
((desire tiger1 turf2) :name desire1)
((desire tiger2 turf1) :name desire2)
((war tiger1 tiger2) :name war1)
((and desire1 desire2) :name and1)
((cause and1 war1) :name cause1)
((not war1) :name not1)
((offer animal1 tiger1 not1) :name off)
((accept tiger1 off) :name accept1)
((cause offer1 accept1) :name cause2)
((cause war1 off) :name cause3)
((peace tiger1 tiger2) :name pece1)
((cause accept1 peace1) :name cause4)
    
```

3. 命題への変換

述語の定義リスト

animal: 人を除く生物を表す単語が記述
 peace: 友好・仲良く・協力・手を組む・同盟・平和などの記述
 attack: 攻撃・殴る・ミサイル発射・侵略・批判・イジメなど、一方が他方に被害を被らせる記述
 have: 第1引数が利益となるものを持っていると推測される場合
 offer: 一方のオブジェクトが他方のオブジェクトに対して、何らかのコミュニケーション(謝る・提案するなど)をとった場合
 cause: それぞれのセンテンスについて因果関係を推測できる場合、時間的な前後関係を推測できる場合

...

を
トラ
2
し

表層的類似度の算出

1. 命題表現に含まれる述語の頻度を要素としたベクトル (C-Vector: Content vector) を用意

想起事例のC-Vector
 (animal = 3, many-tree = 2, have = 2...)

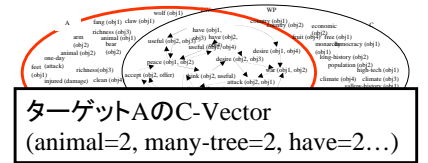
```

((many-tree turf1) :name prop1)
((many-tree turf2) :name prop2)
((animal tiger1) :name prop3)
((animal tiger1) :name animal2)
((animal animal1) :name animal3)
((have tiger1 turf1) :name have1)
((have tiger2 turf2) :name have2)
((desire tiger1 turf2) :name desire1)
((desire tiger2 turf1) :name desire2)
    
```

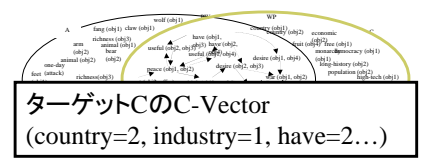
想起事例のC-Vector
 (animal = 3, many-tree = 2, have = 2...)

```

((not war1) :name not1)
((offer animal1 tiger1 not1) :name off)
((accept tiger1 off) :name accept1)
((cause offer1 accept1) :name cause2)
((cause war1 off) :name cause3)
((peace tiger1 tiger2) :name pece1)
((cause accept1 peace1) :name cause4)
    
```



ターゲットAのC-Vector
 (animal=2, many-tree=2, have=2...)



ターゲットCのC-Vector
 (country=2, industry=1, have=2...)

表層的類似度の算出

2. C-Vector間の内積を計算し、表層的類似度とする

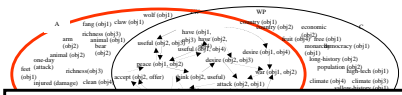
```

((many-tree turf1) :name prop1)
((many-tree turf2) :name prop2)
((animal tiger1) :name prop3)
((animal tiger1) :name animal2)
((animal animal1) :name animal3)
((have tiger1 turf1) :name have1)
((have tiger2 turf2) :name have2)
((desire tiger1 turf2) :name desire1)
((desire tiger2 turf1) :name desire2)
    
```

想起事例のC-Vector
 (animal = 3, many-tree = 2, have = 2...)

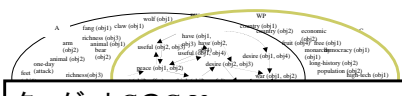
```

((not war1) :name not1)
((offer animal1 tiger1 not1) :name off)
((accept tiger1 off) :name accept1)
((cause offer1 accept1) :name cause2)
((cause war1 off) :name cause3)
((peace tiger1 tiger2) :name pece1)
((cause accept1 peace1) :name cause4)
    
```



ターゲットAのC-Vector
 (animal=2, many-tree=2, have=2...)

表層的類似度 = 2*3 + 2*2 + ... = 16



ターゲットCのC-Vector
 (country=2, industry=1, have=2...)

表層的類似度 = 2*2 + ... = 10

注: 実際の計算ではC-Vectorを単位ベクトルに変換

構造的類似度の算出

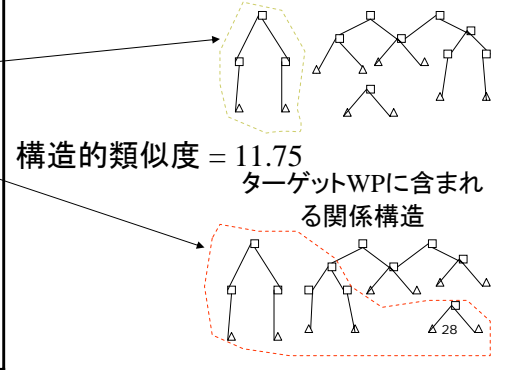
SME (Structure-Mapping Engine; Falkenhainer et. al., 1989) を利用
 構造的に一貫した写像の大きさを算出 (1対1対応・並列結合性)

```

((many-tree turf1) :name prop1)
((many-tree turf2) :name prop2)
((animal tiger1) :name prop3)
((animal tiger1) :name animal2)
((animal animal1) :name animal3)
((have tiger1 turf1) :name have1)
((have tiger2 turf2) :name have2)
((desire tiger1 turf2) :name desire1)
((desire tiger2 turf1) :name desire2)
((not war1) :name not1)
((offer animal1 tiger1 not1) :name off)
((accept tiger1 off) :name accept1)
((cause offer1 accept1) :name cause2)
((cause war1 off) :name cause3)
((peace tiger1 tiger2) :name pece1)
((cause accept1 peace1) :name cause4)
    
```

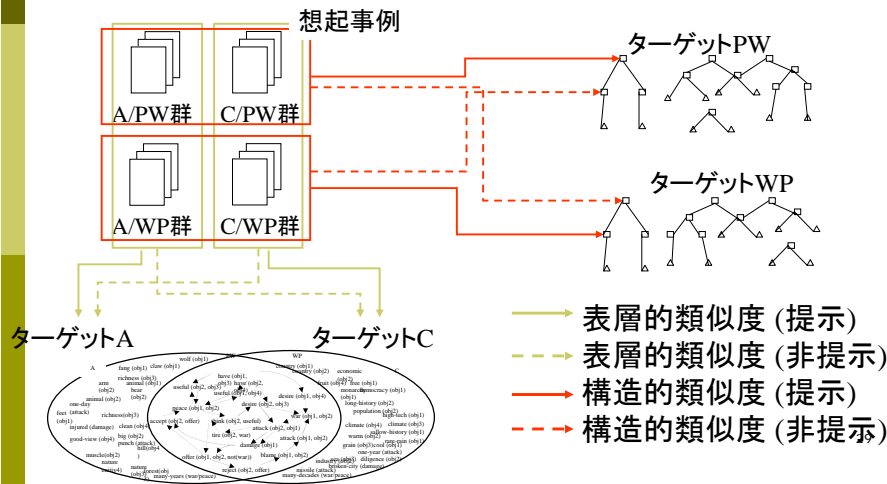
構造的類似度 = 7.59
 ターゲットPWに含まれる
 関係構造

構造的類似度 = 11.75
 ターゲットWPに含まれる
 関係構造



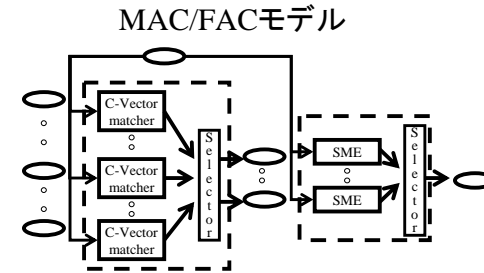
算出された類似度

- 表層的類似度・構造的類似度のそれぞれに2つの指標を算出



結果

1. ベースの検索に影響する類似性
 - 検索フェーズに対応
2. ベースの評価に影響する類似性
 - 評価フェーズに対応

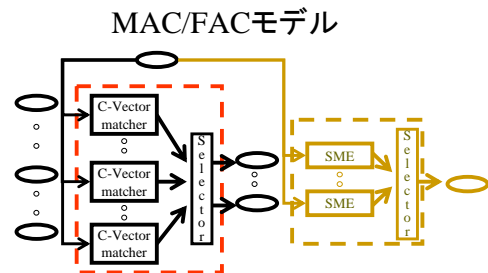


実験手続き

1. 検索フェーズ(20分間)
ターゲットストーリーを手がかりとし、事例を想起
2. 評価フェーズ
想起した事例に対し、類推としての良さを評定(5段階評定)

結果

1. ベースの検索に影響する類似性
 - 検索フェーズに対応
2. ベースの評価に影響する類似性
 - 評価フェーズに対応

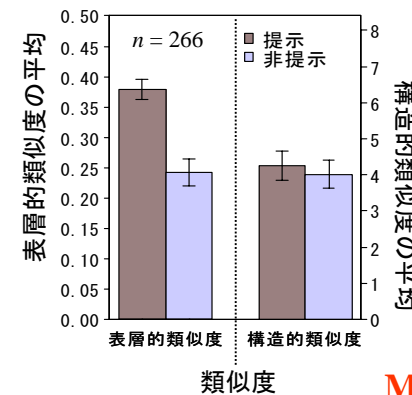


実験手続き

1. 検索フェーズ(20分間)
ターゲットストーリーを手がかりとし、事例を想起
2. 評価フェーズ
想起した事例に対し、類推としての良さを評定(5段階評定)

ベース検索

- 検索フェーズで報告された全事例を対象
- 表層的類似度・構造的類似度について提示と非提示を比較



表層的類似度
提示 > 非提示
構造的類似度
提示 ≒ 非提示

**表層的類似度に従う検索
MAC/FACモデルの仮定と整合**

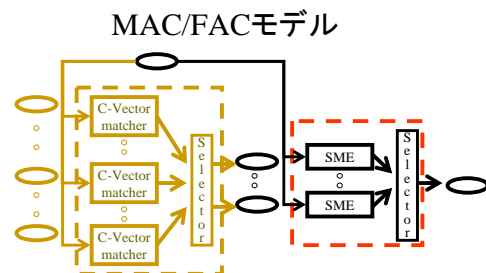
結果

1. ベースの検索に影響する類似性

- 検索フェーズに対応

2. ベースの評価に影響する類似性

- 評価フェーズに対応



実験手続き

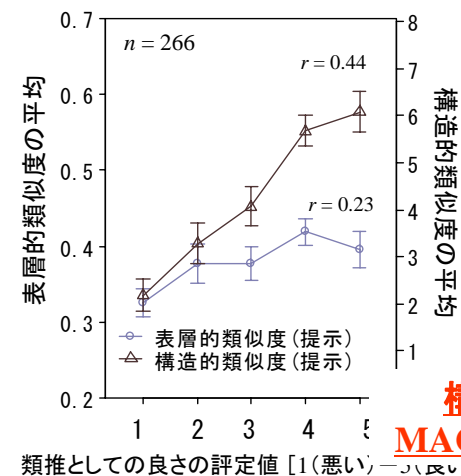
1. 検索フェーズ(20分間)
ターゲットストーリーを手がかりとし、事例を想起

2. 評価フェーズ
想起した事例に対し、類推としての良さを評定(5段階評定)

33

ベース評価

- 評価フェーズで付与された類推としての良さの評定値と類似度の関係



表層的類似度
評定値との弱い相関
構造的類似度
評定値との相関

**構造的類似度に従う評価
MAC/FACモデルの仮定と整合**

考察

□ まとめ

- 構造写像理論(MAC/FACモデル)の仮定を検討
- 表層的類似性に従ったベースの検索
- 構造的類似性に従ったベースの評価

□ 意義

- 日常経験をベースとした実験で、構造写像理論の仮定を確認
- 日常経験をベースとした類推を検討する方法の考案
=モデルを利用した分析

35