

日本語文における単語の選択と非辞書語の機能：メカニズムデザインとブロッキングシステムのメタファー

Choice for words and function of non-lexicographic words in Japanese sentences: The metaphors of mechanism design and blocking systems

犬童 健良[†]

Kenryo Indo

[†] 関東学園大学

Kanto Gakuen University

kindo@kanto-gakuen.ac.jp

概要

本論文は、文理解の認知モデル化に経済メカニズムデザインを適用することを試みた。文中の各単語は、その位置に対応するエージェントから送信されたメッセージであり、文の意味は辞書内の単語とそれ以外の残余（スケルトン）から計算されると仮定された。具体的には総記のガや対比のハの解釈を切替える戦略に着目し、WordNetを用いてそれに影響する示唆的特徴語の分布を調べ、またブロッキングシステムとして定式化した。さらに比喻などの婉曲表現に応用可能なより抽象的なメカニズムにおける戦略的操作可能性から、論理プログラミングによる実験手法を用いて、総記や対比の発生を予測する具体的モデルを提案した。

キーワード: 文理解, メカニズムデザイン, ブロッキングシステム, 戦略的操作可能性

1. はじめに

言葉の意味の成り立ちを説明するためゲーム理論を応用する試みは分析哲学ないし形式意味論の分野に古くからあり[1], また近年の戦略的読者の理論 [11]にも見られる。他方, 経済メカニズムデザイン論[2][3]は市場取引における価格シグナルや組織の意思決定, 情報システムなどの分権的なコミュニケーションをゲーム理論的なメカニズムとして抽象化する。本論文では, 前者ではなく, 後者のアプローチを, しかし人々の間のコミュニケーションではなく, 個人内の文理解において適用する。

本論文では主格をマークする助詞ガとハの交換で文の意味が微妙に変化する現象に注目する。例えば, 「蛙ハ両生類デス」は自然な日本語文だが, 「蛙ガ両生類デス」は不自然であり, 「蛙ダケガ両生類」という意味合いを生じる。また「宅急便ガ到着シタ」は自然であるが, 「宅急便ハ到着シタ」は何か他のものも届く予定があるように思える。前者は「総記のガ」, 後者は「対比のハ」として論じられている[4]。

本論文ではこうした文例をメカニズムデザインの観点から抽象化する。メカニズムデザインではゲームフォームを与えると, エージェントたちが自律的に反応してメッセージを送り, ゲームフォームのルールに従って結果が選択される。例文では「XハY」と「XガY」という文の型は, それだけでは具体的な意味を持たないが, XとYに単語のペアを代入することで文として理解され, かつ結果として異なる意味を生じる。つま

り言語理解者の脳は, 文を辞書の単語と残余の文字列断片（スケルトン）に分解し, 文全体として文の意味を計算する関数の計算であり, 代入組 (X, Y) は適切な単語を選んで文中位置に割当てる資源配置問題の解である。

メカニズムデザインは, 市場モデルと言語モデルの間のメタファーを厳密化する。文理解は文中の各語の位置に対応するエージェントから送信されるメッセージの組および適切なゲームフォームに結び付けられたスケルトンから計算される分権化された情報システムとみなせる。またブロッキング関係を導入することで, この胎児的な言語モデルにより簡潔な表現と説得力を持たせることができる。

ブロッキング関係は, 2人非協力ゲームにおけるプレイヤー間の敵対的な関係としてモデル化される。第4節で紹介するように, 「XハY」や「XガY」の述部Yを定常性（静と動の特徴量）によって整列することで, 総記や対比の解釈切替えがミニマックス解[5]と類比される。本論文の第5節では, 総記や対比のメカニズムをより具体的に単語配置問題として論じるが, そのボトルネック解はクラッター（配置者）とロッカー（阻止者）の間のゲームのミニマックス均衡として明示的に特徴づけられる。ボトルネックがミニマックス均衡として記述できる集合族ペアはブロッキングシステム[6]と呼ばれる。経営科学において, ボトルネック問題は異なる領域で独立に論じられていた。例えば, 配置問題におけるボトルネックは, 最短路問題におけるパスとカットの双対性に翻訳できる。ブロッキング関係はメカニズムデザインと社会選択理論の基礎である。認知科学のような学際分野では, 同じ対象について分野によって異なる表現（定式化の違い）がボトルネックとなることは, おそらくその黎明において経験されているはずである。

ボトルネック現象は普遍的であり, 思考や推論の認知プロセスも例外ではない。とうぜんながら長い文章の推敲や複雑なパズルの問題解決において, それは時間を費やし作業の進展を阻む。文中の単語の出現順序を選ぶ（あるいは次にくる単語を予測する）問題として文を書いたり, 話したり, あるいは読んだりする認知プロセスは, 単語のパスを文末に到達するまで伸長するクラッターと, 途中でパスカットして文全体の意味の完成を妨害するロッカーとの間の敵対的なゲームとみなすことができる。またボトルネック均衡では, 意味伝達に失敗するリスクを抑えて最大限情報を伝える単語の並びを定めることと, それを除去することで文の意

味が理解できなくなる最小の単語集合を見つけることが等しい。

本研究ではより単純な文の意味理解におけるボトルネック現象としての総記のガや対比のハ[4]に注目する。また本研究で日本語版 WordNet [7][8]における語義説明文をコーパスとして、実験的に検証を試みる。近年深層学習による機械学習アプローチが自然言語処理分野でも注目されているが、人間によって分類された WordNet はその比較対象とされる一方、上位語、下位語、帰結、原因など WordNet の提供する関連性データを利用して近傍を定義しサポートベクター回帰で訓練することによって類似性判定や感情語彙分類において深層学習に匹敵するとの報告もある[9]。本論文では、文理解における総記や対比の発生を予測する簡便な実験を目的として、WordNet の見出し語とその語義説明を利用し、関連性データは用いない。4 節で文の述部の定常性を判別が容易な示差的特徴語に注目して、ハとガの用法の切替えと統計的意思決定問題との類似を示す。またこの類似は必ずしも偶然ではなく、より根本的な文理解の認知過程の性質から帰結していると考えられる。そこで第 5 節ではブロッキングシステム、より具体的にボトルネック配置問題のミニマックス均衡として解釈を試みる。

ところで、メカニズムデザインのもうひとつの側面としてインセンティブ（経済的誘因）がある。メカニズムデザインではエージェントたちから情報を正しく引き出し全体目標と一致させるようにインセンティブを与えるため、非協力ゲームの形式を用いる。これがインプリメンテーション（遂行）問題である。言語使用者は、自分が意図する意味を再現できるよう単語を選ぶ必要がある。これは全体目標を文の意図された意味、単語の選択をメカニズムに反応する自律的なエージェントの行動と考えたインプリメンテーション問題である。

インプリメンテーション問題においては戦略的操作の可能性が生じ得る。戦略的操作とは、直観的に言うと、エージェントが自分自身の選好を偽って報告することでより有利な結果に誘導することであり、一般的な用語としての虚、情報操作、偽装などを抽象化する。第 6 節で述べるが、総記のガや対比のハは戦略的操作不可能性（つまり耐戦略性）と関連する。本論文では [10] で提案された論理プログラミングを応用して、具体的に総記や対比のメカニズムを設計する。また戦略的操作アプローチは、比喩、類推、皮肉などの婉曲評言に適用可能であり、潜在的に、戦略的話者の理論[11]と関連する。

経済学ではワルラス均衡やオークションなどの価格メカニズムによって資源配分問題を解く分権的なメカニズム、公共財供給における Vickrey クラーク＝グロブズ・メカニズムのようにグループ意思決定における虚偽報告防止に焦点を当てたメカニズムがある。また投票メカニズムを抽象化した Arrow の一般不可能性定理や Gibbard=Satterthwaite 定理（以下 GS 定理）[12] は抽象化された社会選択問題におけるメカニズムデザインの基礎をなす。なお、メカニズムデザインという用語は、機械工学や情報数理（オートマタ理論）に同じ用語があり、またメカニズムと言う用語は認知科学、とくに因果推論[13]のキー概念である。これらと区別するため、本論文では経済メカニズムデザインと呼ぶ。

以降の部分では第 2 節で認知的メカニズムデザインを説明し、どのように経済的メカニズムデザインを認知モデル化への分析枠組みとして適用できるかを、具体例を通じて明らかにする。第 3 節ではモデルを定式化する数学的用語を整理し、実験用 Prolog プログラムとの関係を述べておく。第 4 節では、「X は Y」「X が Y」の形をした簡単な文における意味的变化（主題／対比／中立叙述／総記）を、リスク下の意思決定におけるミニマックス解によって説明することができることを示す。第 5 節では文理解をボトルネック配置問題として解釈し、そのミニマックス解によって 4 節のモデルを一般化する。第 6 節で比喩、類推、皮肉などの婉曲評言を戦略的操作の観点から説明し、総記や対比に対して具体的に適用することを試みる。最後に第 7 節でまとめとする。

2. 認知的メカニズムデザイン

Hurwicz & Reiter[4]はメカニズムデザインの概念を図 1 のような可換図(commuting diagram)として示した(図 1 参照)。

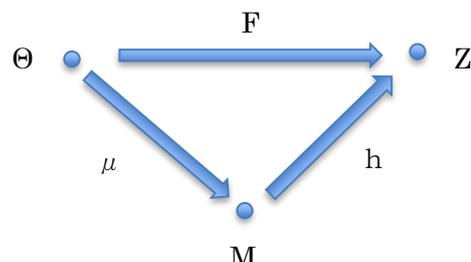


図 1 メカニズムデザイン

図 1 における記号 Θ , Z , M , F , g , h の意味を説明しておく。 Θ はエージェントの環境の集合、 M はメッセージ空間、 Z は目標状態の集合である。 N をエージェントの集合とする ($N=1, 2, \dots, n$)。各エージェント $i \in N$ が知っている情報 θ_i の組 $\theta \in \Theta$ はプロフィールと呼ばれる。 θ はメカニズム設計者から直接観察できない私的情報であると仮定される。 F は目標関数であり、 Θ から Z の冪集合への写像である。すなわち任意の $\theta \in \Theta$ に対し $F(\theta) \subseteq Z$ はシステム全体として目指す（あるいは許容される）目標状態の集まりである。

メカニズム π は、メッセージ空間 M 、メッセージ関数 μ 、結果関数 h の組 $\pi = (M, \mu, h)$ として定義される。 μ はメッセージプロセスとも呼ばれ、各エージェントの私的情報 θ_i の組からメッセージ空間 M への写像である。 $m \in M$ は全エージェントの送信したメッセージの組である。 $m = (m_i)_{i \in N}$ 。

経済的メカニズムデザイン問題とは、システム全体としての目的を表すある目標関数 F と、エージェントたちが自発的に選んだ行動の結果として生じる状態と F がつねに一致している ($F(\theta) = h \circ \mu(\theta) \forall \theta \in \Theta$) ように π を定めることである。いいかえれば π は F を実現する分権的メカニズムである。

図 1 で表されるメカニズムデザインは、経済領域に限らず、さまざまな情報システムを対象となりうる（筆者は詳しく知らないが、数理システム理論では実現理

論と呼ばれるらしい). 認知モデルに対して適用すると, ある認知主体をシステム全体とみなし, $\theta \in \Theta$ は環境からの刺激を処理した脳の状態 (情報), μ は認知プロセスであり, 意識の空間 M において記憶表象や言葉を発生させる. h は意識状態に基づくより高次の判断や推論, 意図的あるいは非意図的な行為であり, そのパフォーマンス $z \in Z$ が観察される. 実際, 言語使用は, 言葉 m を通じて何か z を成し遂げる. 実際, 言葉には, 挨拶, 警告, 依頼, 質問, 命令, 感情表出 (感嘆) といったさまざまなコミュニケーション機能を遂行する.

例えば, 池に一匹のカエルがいるのを見た人が, 「カエル」という単語を発したとしよう. そのメッセージの意味は「その人がカエルを見ている」という事実 (コト) を伝える. つまりそのメッセージの送り手の意図は, 送り手自身とそのカエルとを「見ている」という関係を通じて成立した事実 (見ている, 送り手, カエル) を記録することを目的とするメカニズムとみなせる.

均衡メッセージ組は, μ の各成分が実関数でその差分 g がゼロであるメッセージ組である. すなわち $g(m) = \mu(\theta_{t+1}) - \mu(\theta_t) = 0$. μ の代わりに g を用いて, メカニズムを $\pi = (M, g, h)$ として定義することもできる. その場合, 均衡メッセージの下で F を実現する ($g(m) = 0 \rightarrow F(\theta) = h \circ g(m) \forall \theta \in \Theta \forall m \in M$) ことがメカニズムデザイン問題となる.

より一般的に, $m = \mu(\theta_{t+d}) = \mu(\theta_t)$ の場合を均衡メッセージと考えることができる. 例えば, 「カエル」の意味を説明する文章を作文しようとしたとすると, 直ちに回答を思いつくか, 数回以上の推敲を経るか, あるいは回答しない理由を考えるだろう. メッセージプロセスが均衡するのは, それ以上遂行の必要なしと判断されたときである. また前出のカエル文メカニズムの例は, 単一のエージェントの活動しか含まないので, いわば集権的なメカニズムであった. より一般には, 文理解では複数の単語をそれぞれエージェントとみなした分権的なメカニズム, すなわち独立した複数のエージェントの活動から成り立つ心の社会を考えることになる. もしもっと良いと思える別の単語や単語の組合せ (結託), すなわちブロッカーが見つければ, 現在の文章で納得せず, 推敲を続ける. 新たなブロッカーが見つからなくなったとき, 原稿が採択される.

言うまでもなく, 辞書は, その見出し語である単語の語義を説明する文からなる. 具体的に, 日本語版 WordNet によると, 「カエル」の語義 (gloss) は, 「跳躍するための長い後肢のある種々の尾のないぼっちゃりした体を持つ両生類の総称; 半水生と陸生の種」とされる. WordNet 内の見出し語によって包含関係がないように分解すると, 以下のような単語が抽出される.

「跳躍」「する」「ため」「長い」「後肢」「ある」「種々」「尾」「ない」「ぼっちゃりした」「体」「持つ」「両生類」「称」「半」「水」「生」「陸」「生」「種」

またこれらの単語以外の4個の「の」, 1個の「を」, および「の総」という文字列断片が残る. 「カエル」文スケルトンは, これらの単語を引数に代入して計算される関数のように見なしたものである. つまりカエルの語義説明は, そのスケルトンをゲームフォームとして, 語義説明中の単語たちをメッセージ組として代入することで, 「カエル」の意味と一致する結果を得ていると解釈することができる.

結果関数とメッセージプロセスの合成関数 $h \circ \mu$ はゲームフォームとも呼ばれる. ゲームフォーム $h \circ m$ は非協力ゲームから選好プロフィールを除去した残余であり, それを代入することで一つの非協力ゲームが定義される (本論文で提案する文理解モデルではスケルトンがゲームフォームの役割を果たしていると仮定される). GS 定理では, ゲームフォームとして各自の選好順序の直接表明 ($\Theta = M$) を用い, 支配戦略均衡と目標関数を一致させる. すると3案2人以上の無制限領域では耐戦略性と市民主権条件 (全射性) から独裁が導かれる. またそのゲームフォームと解概念を緩めた問題はナッシュ遂行と呼ばれる. 直接表明ではナッシュ遂行の必要条件である Maskin 単調性と全会一致性を用いても GS 定理と同じく独裁が導かれる. ただし制限領域では両者は必ずしも一致しない.

3. 文理解モデル

前節の終わりに観察した文理解の例をより一般的な形で述べ直そう. ある言語 L の単語の辞書 D を考える. Ω を辞書内のすべての見出し語の集合とする. またある単語 w の語義説明を $d(w)$ と書く. 辞書は有限個の見出し語 $w \in \Omega$, その語義を説明する文 $d = d(w)$, およびその他の付帯的情報 $s = s(w)$ の組 (w, d, s) の集まりとする. また語義説明中に現れる D 中の単語のリストを作る操作を Γ とする. 数学的な表現では写像 $\Gamma: \Omega \rightarrow 2^D$ であり, $w \in \Omega$ の写像先を $\Gamma(w) \subseteq \Omega$ と書くことができる. なお一般に同義語が存在するため, Γ の逆写像 Γ^{-1} は, 任意の $w \in \Omega$ に対し, $\Gamma^{-1}(d(w)) \subseteq \Omega \ni w$ である. いわば, 単語当てクイズに答えるプログラムのようなものである.

例えば, 「塩分の摂取を控える」という文を S とする. 文 S に対し, 辞書内に「塩分」「摂取」「控える」が存在するとき, $\{A, \text{の}, B, \text{を}, C\}$ のように S を部分的に変数化した文字列断片に分解し, $A = \text{「塩分」}$, $B = \text{「摂取」}$, $C = \text{「控える」}$ とする. $\{A, \text{の}, B, \text{を}, C\}$ を結合した文の形「 A の B を C 」 S を(文)スケルトンないし文スキーマと呼ぶ. スケルトン内の変数でない要素は, 非辞書項目であり, Γ の値域に入らない. 文 S に対して, そのスケルトンと辞書内の単語の代入組のペアに分解する操作を γ とする. 上記の例では, スケルトン「 A の B を C 」と代入組 $(A, B, C) = (\text{塩分}, \text{摂取}, \text{控える})$ が γ の値である. $\gamma(\text{塩分の摂取を控える}) = (A \text{の} B \text{を} C, \{A = \text{塩分}, B = \text{摂取}, C = \text{控える}\})$.

Prolog は論理に基づく汎用プログラミング言語として AI を中心に広く活用されており, 本論における文理解メカニズムの実装にも適する. 付録 A にオペレータ γ (とその逆操作 λ) の Prolog プログラムを例示する.

第2節で説明したメカニズムデザインの用語を用いると, 文理解メカニズム (M, μ, h) において, スケルトンは文の意味を計算するゲームフォーム h に相当している. カエルを見た人の脳状態 θ に対して, γ はゲームフォームとしての文スケルトン $h = \gamma_1(\theta)$ とそれぞれ各単語に対応するエージェントのメッセージ組として辞書内単語の部分集合 $m = \gamma_2(\theta)$ を同時に返す. すなわち, $\gamma(\theta) = (h, m) = (h, \mu(\theta))$ である. 上記の例文では A, B, C の3語に対応する3エージェントの均衡メッセージの組 $m = (m_A, m_B,$

m_C), m_A = 「塩分」, m_B = 「摂取」, m_C = 「控える」である。この均衡メッセージ m^* のゲームの結果は $z = h \circ \mu(\theta) = h(m^*) = \text{「カエル」} \in \Omega$ である。

次節では文理解の認知的メカニズムの例として、ハとガの交換による文の意味の変化(総記・中立叙述・対比・主題)を取り上げる。文の解釈は述部の定常性、すなわち特徴量と関連する。

4. 総記のガ, 対比のハ

言語学の文献[4]では、主格をマークする助詞ハとガには、「主題のハ」「対比(対照)のハ」「中立叙述のガ」

「総記のガ」の4用法の区別があるとされる。Xが主格の場合、「XガY」には中立叙述と総記があり、中立叙述は述部Yが非習慣的動作や一時的状態であるときに限られる。それ以外、つまりYが習慣的動作や恒常的状态であると、「極めて座りが悪い」([4]p.32)。またXハYでは主題と対比がある。主題のハは、Xが総称か文脈指示、より一般に文脈から予測可能のときであり、それ以外は対比である。ただし対比は文使用のコンテキストが肯定的か否定的かによって影響を受ける([4]p.31)。また日本語の特徴として、主格のガに限らず、主な語句すべてが総記の解釈をとりうる([4]p.41)

説明を簡単にするため、本論文では述部の性質に焦点を当てて、以下で説明する示差的特徴語の出現回数(特徴量と呼ぶ)を調べる。

表1 特徴量の分布：名詞(n)以外の示差的特徴語

| 静 | 動 | 度数 | 静 | 動 | 度数 |
|----------|----|--------|----------|--------|--------|
| 0 | 0 | 65,535 | 0 | 0 | 65,535 |
| 0 | 1 | 105 | 1 | 0 | 138 |
| 0 | 2 | 114 | 2 | 0 | 182 |
| 0 | 3 | 85 | 3 | 0 | 141 |
| 0 | 4 | 115 | 4 | 0 | 75 |
| 0 | 5 | 74 | 5 | 0 | 66 |
| 0 | 6 | 64 | 6 | 0 | 57 |
| 0 | 7 | 49 | 7 | 0 | 47 |
| 0 | 8 | 44 | 8 | 0 | 72 |
| 0 | 9 | 41 | 9 | 0 | 73 |
| 0 | 10 | 59 | 10 | 0 | 62 |
| 0 | 11 | 25 | 11 | 0 | 38 |
| 0 | 12 | 32 | 12 | 0 | 53 |
| 0 | 13 | 2 | 13 | 0 | 30 |
| 0 | 14 | 23 | 14 | 0 | 8 |
| 0 | 15 | 68 | 15 | 0 | 19 |
| 0 | 16 | 32 | 17 | 0 | 28 |
| 0 | 20 | 4 | 19 | 0 | 1 |
| 0 | 24 | 7 | 20 | 0 | 16 |
| - | - | - | 21 | 0 | 9 |
| - | - | - | 31 | 0 | 8 |
| (0,0)以外計 | | 943 | (0,0)以外計 | | 1,123 |
| | | 総計 | | 67,601 | |

示差的特徴語と特徴量は次のようにして求めた。まず便宜的に以下の14種類の文字を考える。

定常性の文字：「静, 止, 定, 常, 恒, 固, 頑」

非定常性の文字：「動, 変, 移, 化, 流, 軟, 柔」

日本語 WordNet の全見出し語 87,991 語から、上述のいずれか一方の文字だけ含む定常 2,228 語、非定常 5,700 語を抽出し、数字や区切り記号だけの断片を除く。

表2 語義説明における特徴量の分布

| 静 | 動 | 単語数 | 静 | 動 | 単語数 |
|----------|----|--------|----------|--------|--------|
| 0 | 0 | 26,679 | 0 | 0 | 26,679 |
| 0 | 1 | 69 | 1 | 0 | 117 |
| 0 | 2 | 49 | 2 | 0 | 107 |
| 0 | 3 | 35 | 3 | 0 | 65 |
| 0 | 4 | 34 | 4 | 0 | 36 |
| 0 | 5 | 19 | 5 | 0 | 32 |
| 0 | 6 | 18 | 6 | 0 | 23 |
| 0 | 7 | 8 | 7 | 0 | 15 |
| 0 | 8 | 10 | 8 | 0 | 20 |
| 0 | 9 | 7 | 9 | 0 | 20 |
| 0 | 10 | 7 | 10 | 0 | 10 |
| 0 | 11 | 5 | 11 | 0 | 8 |
| 0 | 12 | 4 | 12 | 0 | 7 |
| 0 | 13 | 1 | 13 | 0 | 4 |
| 0 | 14 | 3 | 14 | 0 | 2 |
| 0 | 15 | 4 | 15 | 0 | 3 |
| - | - | - | 17 | 0 | 5 |
| - | - | - | 19 | 0 | 1 |
| - | - | - | 20 | 0 | 2 |
| - | - | - | 21 | 0 | 2 |
| - | - | - | 31 | 0 | 1 |
| (0,0)以外計 | | 279 | (0,0)以外計 | | 480 |
| | | 総計 | | 27,438 | |

表3. 部文字列としての示差的特徴語の分布

| 静 動 | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 計 |
|--------|--------|-------|-------|-----|-----|----|---|--------|
| 0 | 10,313 | 4,763 | 1,923 | 387 | 70 | 13 | 1 | 17,470 |
| 1 | 10,159 | 4,493 | 1,516 | 319 | 128 | 51 | 2 | 16,668 |
| 2 | 6,813 | 2,892 | 1,072 | 319 | 92 | 2 | | 11,190 |
| 3 | 3,218 | 1,605 | 412 | 130 | 34 | 8 | | 5,407 |
| 4 | 1,379 | 621 | 209 | 16 | 2 | 1 | | 2,228 |
| 5 | 461 | 408 | 121 | 10 | 4 | | | 1,004 |
| 6 | 213 | 133 | 74 | 7 | 1 | | | 428 |
| 7 | 63 | 28 | 13 | | | | | 104 |
| 8 | 62 | 9 | | 20 | | | | 91 |
| 9 | 9 | 8 | | | | | | 17 |
| 10 | 1 | | | | | | | 1 |
| 11 | 1 | | | | | | | 1 |
| 12 | 3 | 1 | | | | | | 4 |
| 15 | 1 | | | | | | | 1 |
| 計 | 10,313 | 4,763 | 1,923 | 387 | 70 | 13 | 1 | 17,470 |

こうして抽出された定常 1,193 語, 非定常 3,016 語を示差的特徴語と呼ぶ. 表 1 に WordNet における特徴量の分布を示す.

なお複数の語義説明がある場合, 表 1 ではそれぞれの語義説明を分解した. また同一の特徴量パターンを省いて集計し直して表 2 とした(全特徴量パターンが一意).

参考までに, 単語分解を経ずに語義説明文中の部分文字列として示差的特徴語をカウントしたものを表 3 とした. 表 3 が示すように, 単語分解を経なければ示差的特徴語内であっても特徴量は 1 次元的にならない.

実際に, 特徴量の多い方から疑似文例を作ってみよう. 非定常(動の特徴量)のランキング上位の単語から作った疑似文例を以下に示す.

- 31; X が変化; X は変化
- 21; X が煽動; X は煽動
- 21; X が震動; X は震動
- 20; X が切り変える; X は切り変える
- 20; X が扇動; X は扇動
- 19; X が道化; X は道化
- 17; X が動く; X は動く
- 17; X が動揺; X は動揺
- 17; X が合流; X は合流
- 17; X が合理化; X は合理化
- 17; X が浄化; X は浄化
- 15; X が変える; X は変える
- 15; X が漂流; X は漂流
- 15; X が進化; X は進化

これらの疑似文ペアは, 文型 XAYB を持ち, X に任意の名詞, A にハまたはガ, 文末 B に適当な文字列を追加して文例を作ることができる. 上記の疑似文例では Y が「動」の示差的特徴語であるから, 久野の 4 用法からの予測として, B としてサ変動詞の活用形語尾「～シテイル」や「～スル」を追加することで, A=ガのとき中立叙述として自然に解釈できるが, A=ハのとき中立叙述として不自然であり, 対比の意味を生じる. また Y が名詞とみなせるなら, B を助動詞「～デス」「～デアル」「～ダ」などとしたコンピュータ文は A=ハでは主題の意味に解釈できるが, B=ガでは総記の意味を生じる.

次に定常(静の特徴量)のランキング上位から疑似文を作成する.

- 14; X が予定; X は予定
- 14; X が推定; X は推定
- 14; X が規定; X は規定
- 15; X が不安定; X は不安定
- 15; X が固い; X は固い
- 15; X が止める; X は止める
- 15; X が特定; X は特定
- 16; X が休止; X は休止
- 16; X が停止; X は停止
- 16; X が定か; X は定か
- 16; X が査定; X は査定
- 20; X が勘定; X は勘定
- 24; X が中止; X は中止

期待される結果としては, 例えば Y が「静」の特徴量を持つコンピュータ文は主題のハとして自然に解釈できるが, サ変動詞の現在形「シテイル」を B とすると, 総記の意味を生じる.

言語学[4]の理論は簡潔だが完全とはいえない. 少なくとも, 単独文には先行文脈がない. また X が総記かどうかは, 明らかな固有名詞の場合などを除くと, 客観的に判定しにくい. 実際には先行句 X の予測可能性は述部 Y を認知した時点で更新されていると考えられる. 例えば Y が否定ムードの場合, 非言語的文脈が明示されていない場合, 対比(や総記)の強さは影響を受けるのではないだろうか. むしろ, X の性質と文脈予測性は独立ではなく, 混在した一つの特徴量と考えるべきではないだろうか(実際, 前節で考察したように語尾からサ変動詞であるのかコンピュータ文であるのかといった手がかりが得られる).

参考までに, ランダム生成した例文(145 ペア)のどちらがより自然に思えるかかを聞くアンケート実験(<https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSduWQqXIR0vx5w2ew8hj7hHaK4SfwzHPCQfQla27vCJ9dOh-g/viewform>)を筆者自身で試みた結果を図 2 として示す. 図 2 の縦棒は特徴量の階級ごとの度数, 折れ線は, 「X ハ Y」の方がより自然とした回答を 1, 「X ガ Y」を選んだ回答を-1, わからないと回えた場合 0 としたハの選択傾向を数値化した. 図 2 からは, 前述した特徴量と文の読みのリグレットとの関係が読み取れる.

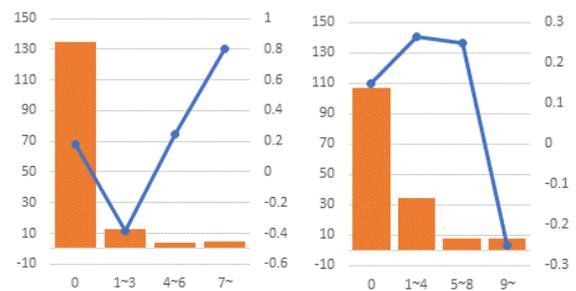


図 2 特徴量とハの選択傾向: 静(左), 動(右)

> summary(g)

```
Call:
glm(formula = d$ChoiceX ~ ., data = d)
Deviance Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-1.53045 -0.77408  0.09732  0.57671  1.37072
Coefficients:
            Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept) -0.10495   0.14285  -0.735  0.46367
否定          0.73934   0.16380  4.514 1.29e-05 ***
コンピュータ  0.49308   0.14700  3.354 0.00101 **
進行         -0.11081   0.23895  -0.464 0.64351
過去          0.23141   0.16969  1.364 0.17473
丁寧          0.03688   0.13690  0.269 0.78801
常用漢字     -0.07960   0.14999  -0.531 0.59643
move         -0.02069   0.02139  -0.967 0.33516
stat         -0.01217   0.03203  -0.380 0.70463
---
Signif. codes:
  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
(Dispersion parameter for gaussian family taken to be 0.5615974)
Null deviance: 117.019 on 156 degrees of freedom
Residual deviance: 83.116 on 148 degrees of freedom
AIC: 365.69
Number of Fisher Scoring iterations: 2
```

図 3 ハの選択傾向: R 言語の GLM を用いた.

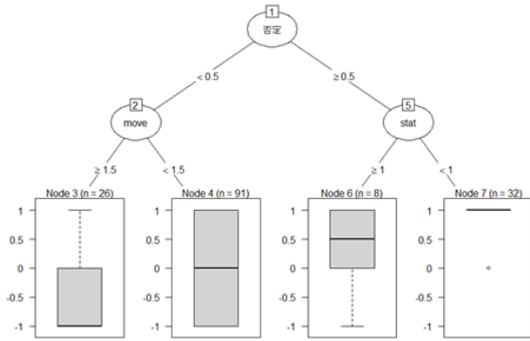


図4 否定の効果：決定木帰納 (rpart+partykit).

他方、図3に示すGLMの結果では、述部が否定であるかどうかや、コンピュータかどうかはハの選択傾向に影響し、特徴量そのものは有意ではない。図4に示す決定木では、静の特徴量に否定による反転効果が認められる。

以上の考察から、特徴量はハの選択傾向に関連する共変量であると考えられる。それゆえ文理解は統計的推論に似て、単語を反復的にサンプリングして特徴量を推定し、これに基づいて解釈を切替えているように見えるのかもしれない。仮に、主題/対比、あるいは中立叙述/総記の異なる読みの中の選択が、述部の特徴量に依存してある閾値で切替わっているのだとするならば、それはベイズ戦略[5]の一種である。実際、主題や中立叙述は失敗するリスク(リグレットを生じる)があるが、対比や総記は助詞の位置にアクセントを置くことによって常に可能であるので、より安全な選択である。統計的意思決定[5]における例題との類比から、もし特徴量が正規分布にしたがう確率変数であり、かつ文理解者である読み手ないし聞き手が特徴量の閾値によるベイズ戦略を採用するならば、そのミニマックス解と一致するだろう。

5. ブロッキングシステム

前節では特徴量に依存するハとガの用法の切替わりに着目して、統計的意思決定問題との類似を論じた。ここでは最大化プレイヤーは明示されていなかったが、文理解が失敗するリスクを、「不自然さ」や「座りの悪さ」としてシグナルする、つまり内部的なマークドネス(有徴性)を発生させる脳の自律的なはたらきに相当しているものと推測される。

示差的特徴語はそれを語義説明内に持つ単語の集合を、定常(静)のクラスか非定常(動)のクラスの、いずれかに区分し、重複しない(表1, 表2)。言い換えれば、示差的特徴語はお互いに自分以外のクラスをブロック(阻止)する関係にある。このような性質を持つ集合のペアを集めたものは、より一般的にブロッキングシステムと呼ばれ、ミニマックス解を帰結する興味深い性質(ボトルネック極値)を有することが知られている[6]。そこで本節では、文理解メカニズムを、より操作的に、表4に示すような単語配置問題として考える。

表4 単語の配置費用

| 単語 | 位置A | 位置B | 位置C |
|----------|-----|-----|-----|
| 1: 雨 | 1 | 3 | 3 |
| 2: ガ | 4 | 2 | 5 |
| 3: 降ッテイル | 4 | 3 | 1 |
| 4: 象 | 1 | 4 | 3 |
| 5: ハ | 5 | 2 | 4 |
| 6: ホニウ動物 | 2 | 3 | 1 |

メカニズムの目標としては、 $\theta_1 =$ 「雨が降っている」または $\theta_2 =$ 「象は哺乳動物である」という情報を、各エージェントからの報告を文中位置A, B, Cに割当てることによって、前者のケースを $z_1 =$ 「中立叙述のガ」、後者を $z_2 =$ 「主題のハ」に対応させたい。すなわち、目標関数は $F_\alpha(\theta_1) = \{z_1\}$, $F_\alpha(\theta_2) = \{z_2\}$ である。またこの結果関数は、それぞれ表1で(ABC←123), (ABC←456)という割当案から生じる文に相当しており、結果関数hはエージェントから報告されるメッセージ組 $m = (1:雨, 2:ガ, 3:降ッテイル)$, $m' = (4:象, 5:ハ, 6:哺乳動物デアル)$ を単純に文字列結合する。その配置費用の最悪値はいずれも2である。

われわれ認知科学者としては、メッセージ組が(雨, ハ, 降ッテイル)のとき、メカニズムが「対比のハ」、また(象, ガ, 哺乳動物デス)のときは「総記のガ」を出力させたい。F_αを拡張して、これらのパターン選択できるような目標関数F_βとする(mとm'の逆像をθ₄とする)。

表1では、しかし位置Bにおける助詞交換によって割当結果の費用(表4)は変化しないから、助詞の使い分けを説明することができないことに注意する。絶望を実感するため、費用をモンテカルロ実験で生成して均衡分布を確かめてみることも可能だ。

ちなみに、ボトルネック配置問題[6]では、最小化プレイヤー(割当案πを求める)と最大化プレイヤー(割当案を阻止する矩形領域(X,Y)を求める)が互いにその戦略を阻止し合うことによってミニマックス均衡点が見出される。すなわち、割当をπ, 費用h(i,j), i∈{1,2,3}, j∈{A,B,C}とすると、以下のボトルネック定理が成立する[6]。

$$\min_{\pi \in \Pi} \max_{i \in \pi} h(i, \pi(i)) = \max_{\substack{X \subseteq \{1,2,3\} \\ Y \subseteq \{A,B,C\} \\ |X|+|Y|=4}} \min_{\substack{i \in X \\ j \in Y}} h(i, j)$$

上述のミニマックス条件を満たす集合族のペアのことをブロッキングシステム[6]と言い、本節の例では配置案の集合族と阻止矩形領域の集合族のペアである。またhは任意の実数値関数である。hは具体的に表1の配置費用である。また文理解モデルとしては前節で考察した特徴量をhに読み替える。

配置問題では正方配列が仮定されるため、表4の6行に対応してダミーの3列を追加し、また式右辺の最大化引数を $X \subseteq \{1, \dots, 6\}$, $Y \subseteq \{A, B, C, D, E, F\}$, $|X|+|Y|=7$ に変える。

改良されたペイオフ表を表5として示す。

表5 ボトルネック配置問題のペイオフ表

| 単語 | A | B | C | E | F | G |
|----------|---|---|---|---|---|---|
| 1:雨 | 1 | 3 | 3 | ∞ | ∞ | ∞ |
| 2:ガ | 4 | 2 | 5 | ∞ | 3 | ∞ |
| 3:降ッテイル | 4 | 3 | 1 | ∞ | ∞ | ∞ |
| 4:象 | 2 | ∞ | ∞ | 1 | 4 | 3 |
| 5:ハ | ∞ | 3 | ∞ | 5 | 2 | 4 |
| 6:ホニュウ動物 | ∞ | ∞ | 2 | 2 | 3 | 1 |

表5の配置問題のボトルネック解(ミニマックス均衡)は明らかに F_β を実現する。また図5として表5の配置問題のボトルネック均衡配置とその阻止矩形領域を示す。



図5 ボトルネック均衡配置とその阻止矩形領域

図5左側に示した上下の配置案は、文1中の単語位置(ABC列)に「雨ガ降ッテイル」、文2中の単語位置(DEF列)に「象ハホニュウ動物(ダ)」が選択された状態として解釈され、そのミニマックス均衡値は2である(この配置案を阻止する矩形領域は単独の行か列であり、かつ2行目、6行目、B列、F列の最小値が2で、それ以外の行や列は最小値が1である)。

図5左上で配置案を阻止する矩形領域はB列、図5左下ではF列であり、それぞれ助詞ガとハを含んでいて、その費用がボトルネック値と一致する。助詞を含む阻止矩形領域はスケルトン(ゲームフォーム)を切替えていると解釈する。

例えば、図5右側に示したように、表5の2行B列あるいは5行F列の値に1を課税することによって F_β が実現される。実際表5右の二つの図では、ABC列で「雨ガ降ッテイル」、DEF列で「象ガホニュウ動物」が選択されている。総記や対比の発生は、図5左側で阻止が実際に起きて、図5右側に示したように2行または5行による単一行阻止矩形領域をもつボトルネック均衡へのシフトとしてモデル化されている。図5右上では「象ガホニュウ動物」のみ選択可能だが、図5右下では選択された「雨ハ降ッテイル」に代えて、「象ハホニュウ動物」も選択可能であることに注意する。またこれらのボトルネック配置で F_β を実現する単一行の阻止矩形領域は、元のボトルネック配置で F_α を実現する代替的な阻止矩形領域でもある。すなわち、対比や総記の読み方は、意識すれば常に可能である。

6. 戦略的操作としての比喩、類推

前節の単語配置メカニズムでは、各単語エージェントからその配置費用を他のエージェントと独立に報告されていた。本節ではより一般的なメカニズムとして、ある文位置にどの単語がふさわしいかについての選好順序を各単語に申告させる。またそれによって、総記のガや対比のハを、戦略的操作可能性の観点からより直接的に説明することができることを示そう。また婉曲表現を文理解という目標の戦略的操作と解釈することは、対人的コミュニケーションの文脈においても自然に適用できる。

一般にエージェントが常に正直に報告するとは限らず、メカニズムを利用してあるエージェントが自らの真の状態を偽って伝えることで、そのエージェントにとってより好ましい結果を誘導することができる。その目標関数は(メカニズムを通じて)戦略的操作可能(manipulable)であると言われる。すなわち、戦略的操作可能性とは、それによって目標関数の達成が阻止されるブロッキングシステムの性質である。また戦略的操作が不可能であることを耐戦略性(strategy-proofness)とも言う。

また比喩、類推、皮肉などは、ある言語表現Sを用いることによって、Sの文字通りの意味ではなく、別の表現S'に対応する意味を伝えることが意図される。すなわち、婉曲表現は形式的に文の意味(目標関数)が文理解メカニズムを通じて戦略的操作可能であることに等しい(付録B参照)。

ここで、分権的な文理解メカニズムでは、一般に独裁ではないと仮定することに注意して頂きたい。独裁とは、ある一人のエージェントの報告がつねに目標関数の値を左右し、それ以外のエージェントの報告は無視される場合である。もし文理解メカニズムが独裁であるなら、つねに一つの単語位置だけで済むので、情報伝達は効率的である(一次元的なメッセージ空間に縮約される)が、複数の単語から文を組み立てても、一つの一の単語以外、意味を持たないから非効率である。婉曲表現が人々に受け入れられるとすると、何らかの意味でよい性質を持つからであると考えられる。それは戦略的操作可能であるという点では好ましくないが、少なくとも独裁ではない。

文献[12]にしたがって、本論文では耐戦略性と全射性(市民主権条件とも呼ばれる)の下でつねに独裁を帰結するという領域を γ 独裁的であると言う。また γ 独裁性がつねに成り立つプロフィールの集合(目標関数の領域)は γ 独裁的領域と言われる[12]。GS定理は3代替案以上の無制限領域が γ 独裁領域であることと同値である。無制限領域では全射性の代わりに全会一致性を用いてもよい。積領域における γ 独裁性の必要十分条件は近年提案された(詳しくは[12]に譲る)。

γ 独裁領域では、独裁ではないと仮定すると、全射性もしくは戦略的操作可能性は両立しないため、一方が成立すると他方の違反が論理的に含意される。この二者択一的な性質ゆえに、対象とする言語現象を予測できる γ 独裁的領域を特定することで、簡潔に文理解メカニズムを設計できる。例えば総記のガは、この観点から以下のように簡潔に説明できる。

総記のガの心理過程 μ は、文中の単語ペア (a, b)

は a 以外の c が b と結合して目標関数 F が戦略的操作可能になることを阻止する意識を生じさせる。総記のガについては、対応する γ 独裁的領域において、その戦略的操作可能性が生じるプロフィールを領域から削除することによって、全射性を諦めて耐戦略性を確保し、またそれゆえ γ 独裁性を維持することができる。他方、全射性を保つ限り、戦略的操作可能性が検出されるので、文理解の認知モデルにおいて、対比や総記の用法に伴う「不自然さ」や「座りの悪さ」の主観発生を説明するメカニズムとして適わしい。総記のガを予測する γ 独裁的領域を付録 C に示す。

また前述のように、文理解のモデルとしては非独裁が要件と考えられるが、付録 D に説明したように、非独裁全射耐戦略性は γ 独裁領域からプロフィールペアの交差的消去の手続きによって容易に実現できる。一方、対比のハは、若干パズル的である。対比のハのそれは、むしろ (a, b) 以外のペアを探すことで耐戦略性が成立するかのよう状況である。しかし一般にプロフィールの追加によって戦略的操作可能になることはあってもその逆はない。 γ 独裁的領域はプロフィール集合の包含関係にかんして単調ではない。プロフィールの追加は戦略的操作可能性が増すことはあるが、減らすことはないため、一般に γ 独裁性を保たない。 γ 独裁的領域にかんする実験から得られる知見を付録 D にまとめておく。この γ 独裁領域の性質から、対比のハの生成モデルは次のように推論できる。「X ハ Y」の形の文は、通常、当面の話題を X に集中して X 以外のことを考慮しないが、対比のハでは言外のペアを意識的に探す間、過渡的に全射性が制限された状態になる。このため γ 独裁的領域の性質が損なわれて、戦略的操作を検出しにくくなり、その結果対比によって生じる違和感が軽減される。またこの対比のモデルを応用すると、戦略的話者[11]の用いる間接的発言をより簡潔に説明できる。曖昧な表現は、直接的な伝達を迂回するという点において非効率だが、相手がその意図を拒絶したときに、対比を発生させて聞き手の側で戦略的操作の意図を特定しにくくする。他方、因果推論[13]の立場では、言語の曖昧さは行為に伴う(因果的)メカニズムの切替えが一对一对応であるかのように、目的や手段の連鎖のみ意識させるという点においてむしろ効率的である。同様に、文理解メカニズムは単語プロフィールに応じてハ/ガの解釈を切替えることで、 γ 独裁性を微調整し、それによって言語使用者に対し文脈からの主体的な情報取得を促している。

7. まとめ

本研究は、文理解の認知モデル化への新しいアプローチとして、経済メカニズムデザイン問題と類比する試みを提案した。文を辞書データベース内の単語と残余の文字列からなるスケルトンに分解し、単語をエージェントの送信するメッセージ、スケルトンをゲームフォームに対応させて、文全体の意味を計算するメカニズムとみなした。具体的には、ハとガの切替えによって生じる意味の変化を予測するため、述部に用いる単語の示差的特徴語数(特徴量)に依存する傾向を、日本語 Wordnet のデータを活用して検証することを試みた。少数の便宜的な示差的特徴語からランダム生成した単

純な例文の自然さを比較した実験手法を示した。またハとガの切替わりが特徴量に依存する傾向を生成するメカニズムを、ブロッキングシステムにおけるミニマックス均衡をモデルとして分析し、特徴量に依存してハとガの解釈の切替る戦略が単語配置問題のボトルネックに対応していると推論した。また潜在的にさまざまな婉曲表現に応用可能なより抽象化されたメカニズムにおける戦略的操作可能性から、総記と対比の発生を再解釈した。論理プログラミングによるモデル生成・自動証明で補強された経済メカニズムデザインアプローチを用いることによって、表層的な類比では不可能な、認知プロセスの深い部分まで考察しうることを具体的に示した。ただし本論文の実証データは予備的なものに留まる。また Prolog プログラミングを応用した認知的メカニズムデザインの計算化についても、単純な文形についてのハ・ガの解釈の切替わり以外の実用的応用は示されなかった。今後の課題としたい。

付録 A

Prolog のプログラムは、節(clause)の集まりである。節は述語(predicate)から成り立ち、行の終わりをピリオドで区切る Prolog の述語や節、およびプログラムの実行結果は、それ自体が真理値を返す関数のように読むことができる。述語はファンクター(述語名)と括弧内の引数の並びに分解でき、引数の数(アリティ)によって区別される。述語単独からなる節は事実(fact)と呼ばれる。ルール(rule)としての述語は、一つの述語の右側を「:-」で区切り、別の述語を並べたもので、カンマで区切られた右辺の述語は連言(AND 条件)としての意味を持つ。ルール節は、いわば論理値型の関数定義として、頭部の述語を定義する。

以下はオペレータ γ および γ の逆操作 λ の Prolog プログラムを示す。処理系は SWI-Prolog 7.6.4 Windows 64bit を用いた。

述語「 γ の行先/7」は処理の終了と継続を区分する。

```
 $\gamma$  の行先( _最後, _変数, _, L, R, A, B ):-
    !+ sub_atom( _最後, _, _, _変数 ),
    !,
    A = L,
    B = R.
 $\gamma$  の行先( _, _変数, _代入, L, R, A, B ):-
    A = [ _変数 | L ],
    B = [ _代入 | R ].
```

$\gamma/4$ は変数と代入を与えてスケルトンを抽出するプログラムである。

```
 $\gamma$  ( _結果, [ ], [ ], _結果 ).
 $\gamma$  ( _文字列, [ _変数 | L ], [ _代入 | R ], _結果 ):-
    atom_concat( _変数まで, _残り, _文字列 ),
    atom_concat( _前, _変数, _変数まで ),
    atomic_list_concat( [ _前, _代入, _残り ], _新 ),
     $\gamma$  の行先( _残り, _変数, _代入, L, R, A, B ),
     $\gamma$  ( _新, A, B, _結果 ).
```

テスト 1.

```
?- _文字列 = x は y が z,
   _変数組 = [x, y, z],
   _代入組 = [象, 鼻, 長い],
    $\gamma$ (_文字列, _変数組, _代入組, _結果).
```

```
_文字列 = x は y が z,
_変数組 = [x, y, z],
_代入組 = [象, 鼻, 長い],
_結果 = 象は鼻が長い.
```

テスト 2.

```
?- _文字列 = x は y が z が, w は u が z,
   _変数組 = [x, y, z, w, u],
   _代入組 = [象, 鼻, 長い, キリン, 首],
    $\gamma$ (_文字列, _変数組, _代入組, _結果).
```

```
_文字列 = x は y が z が, w は u が z,
_変数組 = [x, y, z, w, u],
_代入組 = [象, 鼻, 長い, キリン, 首],
_結果 = '象は鼻が長いが, キリンは首が長い'.
```

逆操作 λ は, `split_string/4` と `atomic_list_concat/2` を用いると簡単である. これらは SWI-Prolog の組込述語であるが, 自作することもできる.

```
 $\lambda$ (_文字列, _スケルトン, _代入):-
  split_string(_スケルトン, '%', '%', _リスト),
  atomic_list_concat(_リスト, _区切り),
  split_string(_文字列, _区切り, _区切り, _代入).
```

上述の述語 $\lambda/3$ は, 第 1 引数の文字列に対して第 2 引数のスケルトンを適用し, 第 3 引数として変数に代入される部分文字列を抽出する. λ は文中の単語の変数化に応用できる. 例として, 「吾輩は猫である」という文の名詞を変数化する.

実行例を示す.

```
?- _文字列 = '吾輩は猫である',
   _スケルトン = '%は%である',
    $\lambda$ (_文字列, _スケルトン, _代入).
```

```
_文字列 = 吾輩は猫である,
_スケルトン = '%は%である',
_代入 = ["吾輩", "猫"].
```

なお本文中の実験では, $\gamma/4$ の前処理として, `word_cutter/2` による単語分解を経ている. 以下に実行例を示す.

```
?- wn(A, B, C), %①
   word_cutter(C, D), %②
   findall(X, member(_:X, D), W), %③
   findall(Y, (
     nth1(J, W, X),
     atom_concat('%', J, Y)
   ), V), %④
    $\gamma$ (C, W, V, S). %⑤
```

```
A = '00001740-a',
B = 可能,
C = '何かをするのに必要な方法、技能またはノウハウ
   または権利を持っている',
D = [0:何か, 3:する, 7:必要, 10:方法, 13:技能, 15:また, 18:
   ノウハウ, 22:また, ...],
W = [何か, する, 必要, 方法, 技能, また, ノウハウ,
   また, 権利...],
V = [%1, %2, %3, %4, %5, %6, %7, %8, %9]...,
S = %1 = %2 のに %3 な %4, %5 %8 は %7 %6 は %9 を %10'.
```

上の実行例では, ①でまず WordNet データを `wn/3` で取り出す. A は Synset 記号, B は単語, C はその語義説明である. ②は `word_cutter/2` で単語リスト D に分解し, ③で位置指標を外す. ④は単語リスト W と同じ長さのリスト V に記号%を番号付きで並べ, 最後に⑤で $\gamma/4$ を用いてスケルトン S を出力している.

付録 B

婉曲表現を, 文理解メカニズムを通じて文の意味(目標関数)が戦略的操作可能であることとして, 形式的に以下のように記述できる. 表現者の意図を θ として, 文の意味はメカニズム (M, μ, h) によって, $h \circ \mu(\theta) \in Z$ として解釈される. 直接メカニズムを仮定すると, $M = \Theta$ であり, 文の文字通りの解釈は, $\mu(\theta) = \theta$, すなわち正直報告である(間接メカニズム $M \neq \Theta$ ではメッセージプロセス μ は伝言者のようにはたらく). 婉曲表現は, $\mu(\theta) \neq \theta$ であり, それによってメカニズムは $z = h(\theta)$ ではなく $z' = h(\theta')$, $z' \neq z$ を出力するが, 報告者にとって直接に θ と表明して z として伝わるよりも, あえて θ' として表明して z' として伝わる方が, 結果として望ましい. つまり $z' > z$ である. ここで “ $x > y$ ” という記法は, $x, y \in Z$ に対して, 「 x は y よりも好ましい」という報告者の選好を表現する. あるいは, 意図の解釈が $h \circ \mu$ の逆像 $Z^{-1}: Z \rightarrow \Theta$ として定義されて, $(z')^{-1} = \theta$, $(z)^{-1} \neq \theta$ である.

付録 C

文「a ガ b」の場合, a と b に対応する 2 エージェントが, 文頭「a」の位置に a, c, b のうちいずれを選ぶかを決め, 残り「ガ b」を固定した目標関数を考える. 単語 a エージェント a の選好は $a > b > c$, 単語エージェント b は a と合意できるか, あるいは少なくとも自分自身が文頭に選ばれたいと仮定する.

[10]のプログラムを利用して, 前述の条件を満たす 2 プロフィール上の戦略的操作可能な目標関数をすべて生成すると, 以下のケースが唯一出力される.

```
?- pp(A), A = [[a, b, c], [a, c, b]], B = [[a, b, c], [_, _], b],
   pp(B), A  $\neq$  B, F = [A - a ], manipulable( _, B - Y, F ), nl,
   write(A - a ), nl, write(B - Y), fail.
```

```
[[a, b, c], [a, c, b]] - a
```

```
[[a, b, c], [c, a, b]] - b
```

```
false.
```

上の出力結果では, ハイフンの左側が 2 人のプロフ

ィール, 右側がそのプロフィールに対する目標関数の値を示す。1行目では両者が合意して目標関数の値 a が文頭位置に置かれ, 2行目では b が選ばれる。総記の G が生じるのは b が静の特徴量を持つ場合である。それゆえゲームフォームとしての「 a G b 」は, 報告 $[c, a, b]$ を受信すると b が静の (あるいは総記を検出できる何らかの) 特徴量をもつと解釈していることになる。静の特徴量を持つ名詞が文頭に立つことは文として不自然ではない。また b は, 本当の選好順序は $[c, a, b]$ であっても $[a, c, b]$ であるかのように装うことで, 自分自身が文頭に立たされるという最悪の事態を回避することができる。

まとめると, 総記は受信するはずのないメッセージを受信した際の驚きに似た, 次のような反事実的条件推論に近い。「 b が自分自身で静の特徴量をもつと申告することは通常考えられない。なぜならば, その場合, 虚偽報告が有利なはずであるからだ。」

付録 D

より一般的な γ 独裁領域については, 弱順序の積領域の場合に必要な十分条件が知られている[12]。プロフィール集合レベルでの必要十分条件は未解明のようであるが, 2人3案の線形順序では以下の6プロフィールとそのエージェント位置反転であることが, [10]の提供する論理プログラムを使った実験で確かめられる。

$[[a, b, c], [b, a, c]]$

$[[a, b, c], [c, b, a]]$

$[[b, c, a], [a, c, b]]$

$[[b, c, a], [c, b, a]]$

$[[c, a, b], [a, c, b]]$

$[[c, a, b], [b, a, c]]$

この6プロフィールを γ 環と呼ぶ。[10]への追加は <https://twitter.com/oo17681304/status/1285938242735312897> に報告されている。また同じケースで Arrow の公理 (独立性と全会一致性) から独裁を帰結する領域を α 独裁的領域と呼ぶことにする。具体的ないくつかのケースは超アロー領域として研究されているが詳しくは省く。その一つは以下のようなものである。

?- ml(B), member(P, B), nl, write(P), fail.

$[[a, c, b], [c, b, a]]$

$[[a, b, c], [c, a, b]]$

$[[b, a, c], [a, c, b]]$

$[[b, c, a], [a, b, c]]$

$[[c, b, a], [b, a, c]]$

$[[c, a, b], [b, c, a]]$

これを α 環と呼ぼう。 α 環はいわば独裁を決めるトークン (決定性) を環状に流すリング型ネットワークである。エージェント位置を交換したそれぞれ α 独裁, γ 独裁である。無制限領域内の α , γ , α^* , γ^* の配置は <https://twitter.com/oo17681304/status/1286808480448307201?s=09> で図示されている。[10]で示されたように, 無制限領域以外でも, α 環からのプロフィール消去にかんして同値性を示すが, 一般に両者は一致せず, 関係は単純ではない。例えば α 環の上位集合はすべて α 独裁的 (最小の超アロー領域) であるが, α 環は γ 独裁的ではない。またプロフィールの追加によって戦略的操作可

能性が新たに発生しうるので, とうぜんながら γ 環の上位集合は必ずしも γ 独裁的ではない。例外はある。例えば γ 環と α 環の和集合, および γ^* 環と α^* 環の和集合は γ 独裁的かつ α 独裁的である。逆に γ 独裁的領域から全射性を損なわずにプロフィールを削除できれば γ 独裁性が保たれる。非独裁全射の耐戦略的目標関数が存在する領域を γ 可能領域と呼ぶ。2人3代替案線形順序のアローの公理系の可能領域と γ 可能領域は一致する[10]。また[10]のプログラムに適切なコードを追加して実験することで以下の事実が容易に確認できる。これらの環を無制限領域から消去するとき, 単独, $\alpha \cup \gamma$, $\alpha^* \cup \gamma^*$ だけが γ 独裁性を保つ。極大 γ 可能領域は4環からの交差的消去により108組存在する。 $\gamma \cup \gamma^*$ からは最悪値合意プロフィール同士のペアを消去する。

文献

- [1] Lewis, D. (1969) "Convention", Cambridge, MA: MIT press.
- [2] Hurwicz, L., (1972) "On informationally decentralized systems", in R. Radner and C.B. McGuire (eds.) Decisions and organization, a volume in honor of Jacob Marschak, pp. 297-336.
- [3] Hurwicz, L. and S. Reiter, (2006) "Designing economic mechanisms", New York, NY: Cambridge University Press.
- [4] 久野障 (1973) 『日本文法研究』 大修館書店.
- [5] Chernoff, H. and Moses, L. (1959) "Elementary decision theory", New York, NY: Dover Publications.
- [6] Edmonds, J. and Fulkerson, D.R. (1970) "Bottleneck extrema", Journal of Combinatorial Theory, 8(3), 299-306. Reprinted in G.B. Danzig and B.C. Eaves (eds) "Studies in optimization", MAA studies in mathematics, Volume 10, MAA, pp.94-103, 1974.
- [7] Fellbaum, C. (ed.) (1998) "WordNet", Cambridge, MA: MIT press.
- [8] Isahara, H., Bond, F., Uchimoto, K., Utiyama, M., and Kanzaki, K. (2008) Development of Japanese WordNet. In LREC-2008, Marrakech.
- [9] Jimenez, S., Gonzalez, F. A., Gelbukh, A., and Duenas, G. (2019) "Word2set: WordNet-based word representation rivaling neural word embedding for lexical similarity and sentiment analysis", IEEE Computational Intelligence Magazine, 14(2), 41-53.
- [10] Indo, K. (2014). "Parallel possibility results of preference aggregation and strategy-proofness by using Prolog", In ICAART2014, pp.243-248. DOI 10.5220/0004913302430248
- [11] Lee, J. J., and Pinker, S. (2010) "Rationales for indirect speech: The theory of the strategic speaker", Psychological Review, 117(3), 785-807.
- [12] Kruger, J., and Sanver, M. R. (2018) "Which dictatorial domains are superdictatorial? A complete characterization for the Gibbard-Satterthwaite impossibility", Mathematical Social Sciences, 94, 32-34.
- [13] Pearl, J. (2002) "Reasoning with cause and effect" AI Magazine, Spring, 95-111.