

空間語選択における幾何的要因の影響

小林 竜己・寺井 あすか・徳永 健伸

Prior studies have indicated that on cognitive load, topological spatial terms are more easily selected than projective spatial terms as a selection mechanism, i.e., “near” tends to be preferred over “left” or “right”. To clarify the effect of geometric factors on spatial term selection, we performed a psychological experiment using 3D generated objects with sentences describing each object in spatial terms in Japanese, e.g., *hidari* (left), *chikai* (near), and *tooi* (far). Results showed that the characteristics for determining the acceptability rating of each spatial term varied by term and also by geometric factors such as the position or size of the object and the location of the distractor. We also performed two other experiments to investigate the effects of changing both point of view and the objects’ size, with the goal of gaining a better understanding of some projective spatial terms in Japanese, *mae* (front), *ushiro* (back). These experiments confirmed the importance of both viewpoint and the objects’ size as factors within the cognitive model. Finally, we discuss a new cognitive model for spatial term selection based on these findings.

Keywords: Spatial cognition (空間認知), spatial term selection (空間語選択), geometric factors (幾何的要因), spatial template (空間テンプレート)

1. はじめに

二つの物体の空間関係を言葉で表現する場合、我々は、その状況で最も適切と思われる表現を即座に選択することができる。空間表現語（空間語）には、前後左右などの方向を示す投射型空間語と「近い」や「遠い」などの距離の程度を表す位相型空間語があるが、日常の場面では、我々ほどの空間語が適切であるかについて深く思い悩むことはない。

Mainwaring et al. (2003) は、コミュニケーション上の制約がない場合、方向を区別するという認知負荷の理由から、投射型空間語の “right” と “left” よりも、位相型空間語の “near” が好まれること、さらに “far” よりも “near” が好まれることを明らかにした。この実験では、人や物体の位置を二次元平面図上にプロットした用紙を被験者に配布する形

をとっており、物体サイズや物体間の距離といった幾何的要因の影響を調べてはいない。一方、Carlson & Covey (2005) はコンピュータディスプレイ上で画像呈示を行い、物体のサイズを変化させて物体間距離推定の実験を行った結果、“right”, “left”, “near”の間では距離推定の結果に有意差が見られなかったと報告している。

しかしながら、物体の空間関係を表現する際には、物体間の位置関係や物体の大きさや形状、さらには視点位置といった様々な幾何的要因が組み合わさり、空間語の選択に大きく影響を及ぼしていると考えられる。空間語の選択にあたっては、人間の認知負荷だけではなく、このような幾何的要因も考慮する必要がある。

幾何的要因に関連した空間認知と言語の研究には、以下のような先行研究がある。

視覚情報に基づく投射型空間語が指示する適合領域をモデル化する研究はこれまで盛んに行われてきた。Hayward & Tarr (1995), Logan & Sadler

(1996) らは空間テンプレートを導入することにより、空間語の指示領域の分析手法の指針を与えた。これにより、空間語の基準軸（空間語が指示する最適領域としての軸、典型軸とも呼ぶ）が空間テンプレート上の最適領域として定義され、さらに適合領域と不適合領域の存在も明らかにされた。これらの研究では、対象物体として、二次元平面上に単純な刺激（アルファベット1文字や鳥や魚などの大きさが同じ単純な物体マークなど）を配置していた。その後、Regier & Carlson (2001) では二次元平面上で異なる形状や大きさを持つ参照物体を用い、投射型空間語の指示領域に適合度を与える基盤が注意のメカニズムにあるという仮定のもと、AVS (Attention Vector Sum) モデルを提案している。しかしながら、彼らの実験では指示物体は常に小さな円形で、モデル上は質点近似できるという仮定をしていた。これらの先行研究は二次元平面を扱っているため、三次元空間での視点位置の違いや遠近効果の影響などが考慮されていない。

三次元空間を対象にした投射型空間語の研究を見ると、実験環境として三次元コンピュータグラフィックス (3-D CG) が使われた場合でも、視点が固定されていることが多い (Imai et al., 1999)。Kojima & Kusumi (2004) は「視線の位置」と「視点の高さ」を導入し、日本語の「後ろ」と「先」の違いを調べている。一方、空間認知のアプリケーションに関連した研究においては、三次元空間での空間語指示領域の計算モデルが提案されているが、これらについて心理学実験によるモデルの検証はなされてはいない (Gapp, 1994; Tokunaga et al., 2004; Kelleher & van Genabith, 2005)。

一方、投射型空間語に関して、物体間の距離の影響についての研究も行われてきた。Logan & Sadler (1996) では、距離の情報は投射型空間語には無関係と主張していたが、後に、Carlson & van Deman (2004) は投射型空間語に距離の情報がエンコードされていることを明らかにした。Carlson & Covey (2005) では、文とそれに対応する画像が呈示されたとき、物体サイズが大きいほど被験者の距離推定値が大きくなるという結果が得られている。これらの一連の研究は、空間語そのものに明示的に含まれない情報（投射型空間語に対しての距離の情報）でも空間語の処理に含まれるという事実を明らかにしたという点で重要である。これに関連して、

Morrow & Clark (1988) は、英語動詞 “*approach*” を用いた文章呈示の実験を行い、文章内に登場する指示物体および参照物体が大きいほど、そこから想起される物体間の距離の推定値が大きくなることを確認している。

また、指示物体と参照物体以外の物体（ディストラクタ）が投射型空間語に与える影響に関する研究もある。Carlson & Logan (2001) は、ディストラクタが空間語指示領域の適合度を低下させる働きがあることを確認したが、ディストラクタの位置自体はその影響とは無関係であると主張している。その後、Kojima & Kusumi (2005) では、ディストラクタ位置が空間指示領域の適合度に影響をおよぼすという結果が得られ、ディストラクタの距離の情報が投射型空間語に影響を与えていることが明らかになった。

一方、位相型空間語については、Logan & Sadler (1996) が、“*near to*” は参照物体を取り囲む領域において最も適合度が高く、そこから離れるにしたがい徐々に低下していくこと、さらに “*far from*” と “*near to*” はまったく逆の適合度分布を持つことを確認している。また、Kelleher, Kruijff & Costello. (2006) は、二つの参照物体のサイズ（顕現性としてのサイズ）とそれら二物体からの距離に依存して、指示物体の適合度分布が変化するという “*near*” の相対近接性モデルを提案している。

以上のように、これまで、投射型、位相型空間語の個々の空間語に関しては、比較的単純な幾何的要因を題材に、空間語指示領域の性質が明らかにされてきた。しかしながら、多様な要因、特に幾何的要因が混在している状況において、なぜ人が複数の選択可能な空間語の中から一つの空間語を選択するのかについて説明ができるモデルや理論は提案されていない。

本研究の目的は、認知負荷の点のみから “*left*” よりも “*near*” が好まれるといったような画一的なモデルを考えるのではなく、実験において得られる知見に基づき、幾何的要因に依存した空間語選択の認知モデルの可能性に関して考察を行うことである。幾何的要因としては、物体サイズ、ディストラクタの存在、物体間距離、高さ方向の視点位置を取り上げ、これらの条件が変化する時に、日本語の投射型空間語と位相型空間語の適合領域がどのように変化するかを調べ、空間語選択のモデルの観点から検討

を行った。実験では、固有前方を持たない単純な幾何学図形（球や立方体）を用い、被験者にはユーザー中心の自己中心参照枠を用いた適合度評定のタスクをおこなわせた。なお、本研究では、実験に際して 3-D CG を活用することで、数多くの幾何的要因の組み合わせによる条件設定を容易にした。また被験者にコンピュータ上で評定を行わせることで、多くの被験者からのデータ取得の効率化を狙った。

以下、第 2 節で、位相型空間語「近い」、「遠い」と投射型空間語「左」を対象に、幾何的要因を変化させた画像を呈示し、説明文の適切さを評定する被験者実験について述べる。第 3 節では、投射型空間語「前」と「後ろ」を対象として、指示物体と参照物体のサイズの変化に関して、それぞれ被験者による画像と説明文を用いた評定実験について述べる。第 4 節では、指示物体サイズと視点位置の変化に関しても同様に被験者実験を行い、空間語の持つ性質を調べる。そして、これらの実験結果を踏まえ、第 5 節「総合考察」の中で、幾何的要因の影響を考慮した空間語選択モデルに関する考察を行い、最後に、まとめと今後の展望を述べる。

2. 実験 1: 「近い」、「遠い」、「左」の比較実験

2.1 実験の目的

この実験では、「近い」、「遠い」、「左」を対象に、幾何的要因が変化したとき、二物体の空間関係を記述した説明文の適切さがどのように変化するかを調べる。この実験を通して、異なる空間語の中で、どの空間語が選択される可能性が高いかに関して、幾何的要因に依存した規則性を発見することを目的とする。

2.2 手 法

2.2.1 被験者

14 名の大学の学部生および大学院生を被験者として、大学の計算室で実験を行った。被験者にはあらかじめ、謝金が支払われることを通知した。

2.2.2 材料

コンピュータディスプレイを用いて、図 1 に示すような説明文と 3-D CG を同時に被験者に呈示した。説明文に用いた空間語は、二つの位相型空間語「近い」、「遠い」と一つの投射型空間語「左」の三

つである。一つの画像に対して「赤いボールは緑のボールの左にあります」、「赤いボールは緑のボールの近くにありますが」、「赤いボールは緑のボールから遠くにあります」の 3 パターンを作り、画像の上に表示した。呈示する画像には、参照物体の左方向の基準軸上に、指示物体、参照物体、ディストラクタの三つの物体を描き、指示物体位置（3 ケース）、指示物体サイズ（3 ケース）、ディストラクタ位置（表示しないケースを含めて 5 ケース）をそれぞれ変化させた条件を計画した。これにより、合計 135 トライアル（ $= 3 \times 3 \times 5 \times 3$ ）を被験者毎にランダムに呈示した。画像は幅 561 ピクセル、高さ 330 ピクセルの固定サイズのものであらかじめ OpenGL を用いて作成し、web ブラウザ上に表示した。物体サイズは、参照物体とディストラクタがどちらも直径 4 の球形で、指示物体は直径 2, 4, 6 の 3 パターンの球形を用意した。色は、参照物体を緑、指示物体を赤、ディストラクタを青とした。指示物体とディストラクタの表示位置は、図 2 に示すように、L1~L3 が指示物体の各表示位置、D1~D4 がディストラクタの各表示位置である。ディストラクタは表示しない条件も設けた。視点位置は固定で、参照物体の中心から視点位置までの迎角は 45 度に設定した。画像の遠近効果は OpenGL の *gluPerspective* 関数を用いて生成した。この時、Fovy (field of view angle) は 37 度に設定した。

2.2.3 手続き

実験では、まず始めに「実験手順の説明」のページとして、以下の教示文と図 1 に示す 3-D CG を表示した。教示文「この実験は、空間語表現に関するものです。呈示された表現が、どれくらい絵に当てはまるかを答えてください。トライアル 8 問、課題 135 問が出題されます。前に行った課題を参考にせず、各課題ごとに判断を行ってください。下の例では、赤いボールは緑のボールの“左”に置かれています。以上の手順を理解した後、下の「トライアル開始」ボタンを押してください。トライアルが始まります。」

被験者は実験に慣れる 8 ケースの練習トライアルを行い、引き続き 135 ケースの本番トライアルを行った。被験者には図 1 に示す通り、3-D CG と説明文を同時に呈示し、被験者は、説明文がどれだけ

1) 実際に被験者に呈示した図には、矢印で示す物体の色（赤、青、緑）の説明はなかった。

表 1 実験 1 の被験者の平均評定値の結果
(太字は最も高い評定値, 斜字体は二番目に高い評定値を示す)

ディストラクタ 条件	指示物体 サイズ	指示物体位置 L1=12			指示物体位置 L2=24			指示物体位置 L3=36		
		左	近い	遠い	左	近い	遠い	左	近い	遠い
なし	大	8.64	8.21	1.64	7.93	4.86	3.43	7.71	3.07	6.00
	中	8.57	7.36	2.36	7.93	4.57	5.07	7.71	2.36	7.79
	小	8.36	6.93	2.71	7.93	3.86	5.36	7.36	2.21	7.64
ディストラクタ 位置 D1=6	大	7.29	7.29	2.14	7.43	4.43	4.71	6.71	2.57	7.07
	中	7.07	6.57	2.93	7.36	3.79	5.43	6.86	2.07	8.00
	小	7.00	5.93	3.43	6.50	3.29	5.36	6.57	1.71	7.86
ディストラクタ 位置 D2=18	大	8.50	7.57	2.21	6.64	4.71	4.86	6.93	2.86	7.64
	中	8.07	6.93	2.71	6.86	3.93	5.43	6.93	3.14	7.29
	小	7.64	6.29	3.43	7.29	3.43	5.71	6.93	2.00	8.07
ディストラクタ 位置 D3=30	大	8.43	8.00	1.71	7.50	3.86	4.14	6.64	2.64	7.71
	中	8.00	7.36	2.29	7.71	3.93	4.71	7.21	2.50	7.50
	小	8.14	7.14	2.93	7.29	3.57	5.71	6.71	2.29	7.93
ディストラクタ 位置 D4=42	大	8.50	7.43	1.57	7.79	4.00	4.23	7.50	3.14	7.64
	中	8.50	7.43	1.86	7.79	4.36	4.36	7.00	2.57	7.71
	小	8.36	7.43	2.07	7.50	3.93	5.43	7.29	1.57	7.29

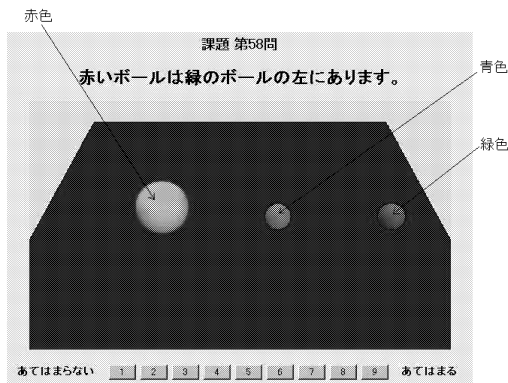


図 1 実験 1 で用いた説明文と 3-D CG の例¹⁾

画像を適切に表現しているかを 9 件法で評定を行った。「1: あてはまらない」から「9: あてはまる」の間で最も適すると思われる番号のボタンを選択すると、次のトライアルがすぐに表示された。被験者の回答時間に関する制限は設けなかった。

なお、本研究では後で示す実験 2 と 3 を含め、Kojima & Kusumi (2004, 2005) による空間認知研究の実績に倣い、被験者の評定には 9 件法を採用した。

2.3 結果

2.3.1 全体の傾向

表 1 に、被験者の平均評定値の結果を示す。まず、指示物体位置 (3 通り)、指示物体サイズ (3

通り)、ディストラクタ位置 (5 通り) で決まる 45 通りの組合せ毎に、三つの空間語の中で最も高い平均評定値を示した空間語を一つ特定した。指示物体位置が参照物体に近い条件 (L1) とその次に近い条件 (L2) の計 30 通りの条件では、すべての組合せで「左」が最も評定値が高く、指示物体位置=L1、ディストラクタ位置=D1、指示物体サイズ=大の場合のみが「近い」と「左」で同じ高い評定値であった。一方、指示物体位置が参照物体から最も離れている条件 (L3) の計 15 通りの条件では、ディストラクタなし、指示物体サイズ=大の場合を除き、すべて「遠い」が最も高いか「左」と同じ評定値であった。

二番目に高い評定値であった条件を確認したところ、傾向としては指示物体が近い (指示物体位置=L1) と「近い」、指示物体が中くらいの位置 (指示物体位置=L2) では「遠い」、指示物体が遠い (指示物体位置=L3) では「左」がそれぞれ評定値が二番目に高かった。

平均評定値によるこれらの分析結果をまとめると、全体の傾向として、ディストラクタ位置と指示物体サイズによらず、指示物体が参照物体に近ければ「左」が選択され、指示物体が参照物体から遠ければ「遠い」が選択されている。「左」は全体的に評定値が高い (最低でも評定値 6.5 以上) が、参照物体から遠いところでは、「遠い」がそれを上回った。「近い」は参照物体の近くでのみ「左」の次に評定が高かった。

9 件法による評定の結果は、135 トライアルに対して被験者全体の合計で見ると、評定 9 が 25% を占め、評定 1 から 8 まではそれぞれ 7.1% から 11.7% の範囲に分布していた。評定 9 が高頻度で選択されたが、一部の評定値のみが極端に少なく選択されることもなく、9 件法による実験は妥当であったと考えられる。

2.3.2 指示物体-ディストラクタ 間距離で見る傾向

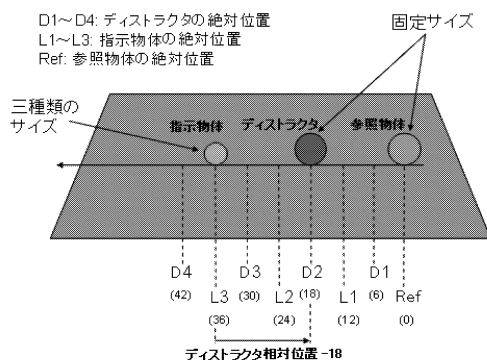


図 2 実験 1 で用いた参照物体（緑），指示物体（赤），ディストラクタ（青）の配置計画

次に、ディストラクタの効果を見るために、実験データに対して分散分析を行った。ここでは、ディストラクタが、参照物体から見た指示物体の認知を妨害するものと考え、指示物体からディストラクタまでの距離を要因（ディストラクタ相対距離と呼ぶ）の一つとした。この要因として、 $-30, -18, -6, +6, +18, +30$ の 6 水準を設定した（図 2 参照）。ここでマイナスはディストラクタが指示物体と参照物体の間にあることを示している。例えば、指示物体位置が 12 でディストラクタ位置が 6 のとき、ディストラクタ相対位置は $-6 (= 6 - 12)$ となる。さらに、ディストラクタがないときと比べ、ディストラクタが存在した場合にどれくらい評定値が変化するかを見るため、ディストラクタが存在する場合の各被験者の評定値から、ディストラクタがない場合の各被験者の評定値を引いた値を差分評定値とし、ディストラクタ相対距離毎の各被験者内での平均差分評定値を目的変数とした。目的変数を平均差分評定値、説明変数を空間語（3 水準）、指示物体サイズ（3 水

準）、ディストラクタ相対位置（6 水準）として 3 元配置分散分析を実施した。この結果、空間語に主効果が見られた ($F(2, 689) = 27.59, p < .001$)。また、空間語とディストラクタ相対位置の交互作用（図 3）、および、空間語と指示物体サイズの交互作用（図 4）が認められた ($F(10, 689) = 3.65, p < .001$; $F(4, 689) = 6.11, p < .001$)。一方、指示物体サイズおよびディストラクタ相対位置については主効果が認められなかった ($F(2, 689) = 1.46, p = .23$; $F(2, 689) = .34, p = .89$)。

2.3.3 参照物体-ディストラクタ 間距離で見る傾向

参照物体からディストラクタまでの距離の効果を見るために、2.3.2 で行った分散分析の要因の内、ディストラクタ相対位置を絶対位置に置き換えて 4 元配置分散分析を行った。この結果、空間語および指示物体サイズの主効果が見られた ($F(2, 1391) = 50.07, p < .001$; $F(2, 1391) = 3.15, p < .05$)。また、指示物体-ディストラクタ間距離の分散分析と同じく、空間語と指示物体サイズ、および、空間語と指示物体位置と指示物体サイズの間の交互作用がみられた。($F(3, 1391) = 8.17, p < .001$; $F(8, 1391) = 2.15, p < .05$)。さらに、空間語とディストラクタ絶対位置の交互作用（図 5）にも有意差があった ($F(6, 1391) = 4.64, p < .001$)。

2.4 考察

2.4.1 全体の傾向

「遠い」は参照物体から見て、D4 よりも外側の 3-D CG（呈示画像）の左端に近づくに従い、単調に評定値を上げており、3-D CG の左端（L3）のところで適合度が「左」を越えている。このことから、位相型空間語の「遠い」に関しては、今回の実験環境の中では参照物体と左端の二つに挟まれた領域に被験者の注意が当てられ、その領域内で適合度が直線的に増減するような認知モデルが存在する可能性が示唆される。もしこのモデルを採用するならば、その時々状況や環境の中で何を端と見なせばよいか、さらに、人の注意が実際にどの場所まで及んでいるかを決定することが重要になってくる。

「近い」は「遠い」とほぼ逆の形で参照物体から離れるにしたがって適合度が単調に落ちており、「遠い」と同様に、左端が近さを計るための比較に使わ

れていると考えられる。一方、「左」は、参照物体から離れるにしたがって緩やかに適合度を下げているが、ディストラクタ、指示物体サイズが同条件であるときの、L1とL3における評定値差は1くらいであるため、左端の影響があるとは考えられない。

2.4.2 空間語とディストラクタ相対位置の関係

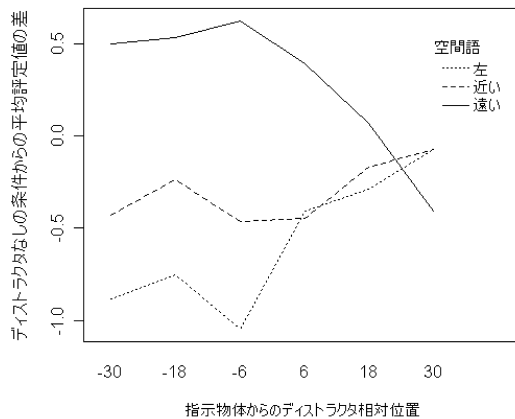


図3 実験1：空間語とディストラクタ相対位置の交互作用

図3は空間語とディストラクタ相対位置の交互作用をグラフ化したものである。ディストラクタ相対位置（横軸）が-6のところでは「左」（密点線）と「近い」（粗点線）の差分評定値が大きく減少しているが、これはディストラクタが参照物体と指示物体の間（指示物体の内側）に置かれた条件に相当する。-30のところでも落ち込みが激しい。一方、ディストラクタ相対位置が+6のところでも、内側ほどではないが差分評定値が落ち込んでいる。また、「遠い」（3の実線）を見ると、「左」と「近い」とほぼ対称にディストラクタの影響が出ており、指示物体の参照物体寄りの内側（-30、-18、-6）にディストラクタが置かれると遠さが増し、外側の真横（+6）でも遠さがわずかに増している。これらの結果から、投射型空間語と位相型空間語のどちらもがディストラクタの影響を受けることがわかった。「近い」は比較的影響を受けないが、「左」と「遠い」は差分評定値の変動幅で最大1程度の影響を受けている。

興味深いことに、横軸の+30の指示物体から外側のかかなり離れたところにディストラクタが置かれると、逆に遠さを抑える効果が出ている。先に議論

した「遠い」の場合に注意があたる領域が参照物体から3-D CGの左端までであることを考慮すると、その領域内で指示物体よりも遠いところに類似した物体であるディストラクタが存在すると、その影響によって指示物体の遠さの程度を減少させる効果が生じると考えられる。一方、「近い」と「左」の場合、指示物体から外側のかかなり離れたところにディストラクタを置いて、「遠い」のように、空間語が持っている本来の性質（左らしさや近さの程度）を増大させるまでには至っていない。以上の考察から、「近い」と「左」についてディストラクタの影響を考える場合、先に述べた3-D CGの左端への注意が及んでおらず、注意の範囲は、参照物体から指示物体の周辺までに限定されている可能性がある。

2.4.3 空間語と指示物体サイズの関係

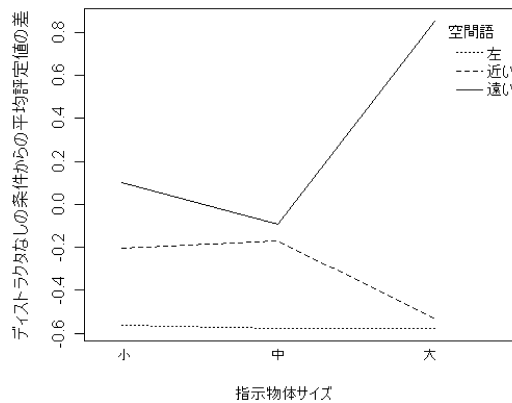


図4 実験1：空間語と指示物体サイズの交互作用

図4は空間語と指示物体サイズの交互作用を示している。「左」（密点線）と「近い」（粗点線）は、ディストラクタの影響を受けて、すべての指示物体サイズで差分評定値がマイナスである。「遠い」（実線）はサイズ大のときに差分評定値が高くなっている。また、「左」は指示物体サイズの影響をほぼ受けずに横ばいであるが、「近い」は指示物体サイズが大きいと差分評定値が下り、「遠い」は逆に上っている。これらのことから、指示物体の周辺にディストラクタが存在する状況において、空間語が受ける影響の性質に関する二つの可能性が示唆される。一つは、指示物体サイズは位相型空間語に対して影響を

与えるが、投射型空間語には影響を与えない可能性である。もう一つは、指示物体サイズが大きいと、「近い」はその近さの程度を減少させ、「遠い」はより遠く感じさせる可能性である。指示物体サイズがディストラクタと同じか小さいサイズ（サイズ小と中）のときは、「近い」、「遠い」どちらについても顕著な影響は出ていない。

2.4.4 空間語とディストラクタ絶対位置の関係

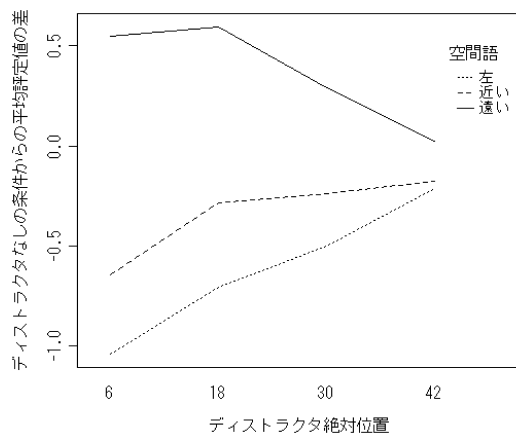


図5 実験1：空間語とディストラクタ絶対位置の交互作用

図5は空間語とディストラクタ絶対位置の交互作用を示している。この図から、ディストラクタが参照物体に近いほど（ディストラクタ絶対位置が6に近づくほど）影響が大きく、「左」と「近い」に対しては、評定値を下げる影響があり、「遠い」に対しては評定値を上げる影響があることが分かる。ディストラクタが差分評定値に与える影響は、3-D CGの左端に近づく（ディストラクタ絶対位置が42に近づく）に従い、徐々に0に近づいている。ディストラクタ相対距離は指示物体からの相対距離を指標にしたものであるが、一方で、参照物体からのディストラクタまでの絶対距離を指標にとると、ディストラクタは、参照物体からの距離に応じてほぼ線形に近い形で、空間語の持つ適合度分布に影響を及ぼすことが分かる。

これに関連して、小島(2006)は、日本語空間語「上」を用いて被験者実験を行い、複数の指示対象候補が存在する場合には、指示対象の単独呈示の場

合に比べ、参照物体との距離の要因が大きく関わってくることを、また、指示対象候補が単独と複数の場合では異なる空間表現語理解が行われていることを示唆している。本実験では、ディストラクタと指示物体は色とサイズ（サイズが同じ条件もある）によって区別できることから、小島らとまったく同一条件の実験ではないが、ディストラクタがある場合とディストラクタがない場合との差が距離によって変化したという点では、関連した結果が得られたといえる。

2.4.5 空間語が個別の認知モデルを持つ可能性

ディストラクタと指示物体の位置、さらに指示物体サイズを操作する実験から、各空間語がそれらの幾何的要因から受ける影響の性質がいくつか明らかになった。

まず、「遠い」は、注意の範囲が「参照物体から領域の端まで」をカバーし、さらに以下の性質を持つ（ T_n は「遠い」の性質、 $n=1\sim 4$ ）。

- T1) ディストラクタが参照物体に近いほど、適合度が高くなる。
- T2) ディストラクタが指示物体と参照物体の間にあると、適合度が高くなる。
- T3) 指示物体サイズがディストラクタより大きいと適合度が高くなる。
- T4) ディストラクタが指示物体よりも外側に置かれると、適合度が低くなる。

一方、「近い」と「左」は注意の範囲が「参照物体から指示物体の周辺まで」をカバーし、さらに以下の性質が共有されていることが分かった（ C_n は「近い」の性質（ $n=1\sim 3$ ）、 H_n は「左」の性質（ $n=1\sim 3$ ））。

- C1,H1) ディストラクタが参照物体に近いほど、適合度が低くなる。
- C2,H2) ディストラクタが指示物体と参照物体の間にあると、適合度が低くなる。
- C3) 指示物体サイズがディストラクタより大きいと適合度が低くなる。
- H3) ディストラクタによる影響は、指示物体サイズの違いの影響を受けにくい。

以上から、二つの位相型空間語に共通する性質をまとめると、T1とC1、T2とC2、さらにT3とC3はそれぞれ、距離の要因に関して裏表の関係になっている。つまり、ディストラクタの条件が加わ

ると、指示物体をより遠く推定させる影響が出ることを示している。一方、T4とH3はそれらとは異なる「遠い」および「左」に特有の性質であると考えられる。

これらの性質のリストから、空間語は個別の認知モデルを持ち、モデル内部で幾何的要因の変動の影響を調整している可能性がある。特に、注意の当たり方とその中で影響を持つ要因の違いを考慮しなければならない。認知モデルについては、さらに、総合考察の中で検討を行う。

3. 実験 2: 参照物体と指示物体のサイズの影響

3.1 実験の目的

実験 1 では、参照物体の基準軸上でのみ実験を行ったが、実験 2 では投射型空間語を対象として、三次元空間内の広がりを持った領域における幾何学要因の影響を調べる。具体的には、参照物体サイズと指示物体サイズの変化の影響について、指示物体の位置を変化させて、投射型空間語である「前」と「後ろ」の適合領域がどのように変化するかについて調べる。この実験の結果を、実験 1 の結果に加えることで、空間語選択モデルの検討をさらに進めることが目的である。

位相型空間語についても同様の実験をすべきであるが、本論文では、投射型空間語に焦点を絞り、議論する。

3.2 方法

3.2.1 被験者

14 名の大学の学部生および大学院生を被験者として、大学の計算室で実験を行った。被験者にはあらかじめ、謝金が支払われることを通知した。なお、実験 1 の被験者はこの実験には参加していない。

3.2.2 材料

コンピュータディスプレイを用いて、図 6 に示す説明文と 3-D CG を被験者に同時に呈示した。説明文に用いた空間語は、投射型空間語の「前」と「後ろ」で、「赤いボールは緑の箱の前にあります」と「赤いボールは緑の箱の後ろにあります」の 2 パターンのどちらかを画像の上に表示した。呈示する画像は、実験 1 と同様に OpenGL であらかじめ作成し、幅 561 ピクセル、高さ 330 ピクセルの固定

サイズで web ブラウザ上に表示した。参照物体である緑の立方体と指示物体である赤い球の二つを描画した。視点位置は実験 1 と同様に 45 度に固定した。この実験では、参照物体は二種類のサイズを用意し、小さいサイズのもはプログラム内の定義で各辺が 4 の立方体、大きいサイズのもは横幅を 16 にした。参照物体の位置は常に固定で、画面の中央に置いた。一方、指示物体も二種類のサイズを用意し、小さいサイズのもは直径が 2、大きいサイズのもは直径を 8 にした。指示物体の位置は、説明文が「前」のときは参照物体の手前（被験者に近い方）の領域に置き、逆に「後ろ」のときは参照物体の裏側（被験者からより離れた方）の領域に置いた。具体的には、7×7 の空間テンプレート（図 7 に「前」と「後ろ」の空間テンプレートを示す）を用いて、小さいサイズの参照物体の場合は、「前」に対して手前の 27 セルに指示物体を置き、「後ろ」に対して奥の 27 セルに置き、大きいサイズの参照物体の場合は 2 セル分少ないため、「前」と「後ろ」それぞれに対して 25 セルを用いた。被験者一人当たりのトライアル数は合計 208 で、これは 2（空間語数）× 2（指示物体サイズ数）× (27 + 25)（参照物体の大小それぞれのセル数の和）の組合せで、被験者毎にランダムに呈示した。空間テンプレートのセルの 1 マスの辺の長さは 6 で、セルは不可視である。

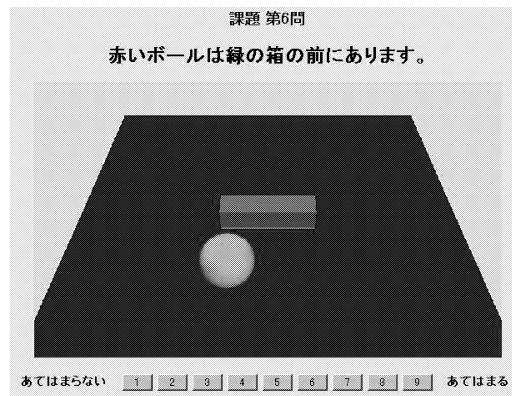


図 6 実験 2 で用いた説明文と 3-D CG の例

3.2.3 手続き

実験 1 と同様に、まず始めに「実験手順の説明」のページとして、以下の教示文と図 6 に示す 3-D

表 2 実験 2 の被験者の平均評定値の結果

空間語	前				後			
	大		小		大		小	
	大	小	大	小	大	小	大	小
最適合領域	9.00	8.88	8.93	8.83	8.83	8.79	8.67	8.90
適合領域	7.04	7.15	6.22	6.34	7.20	6.88	6.45	6.00
不適合領域	1.20	1.08	1.62	1.70	1.46	1.25	2.10	1.80

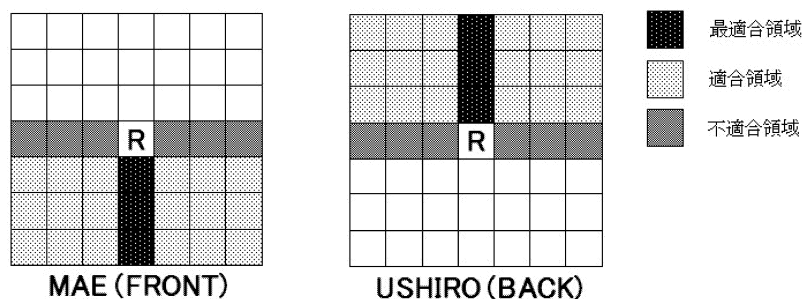


図 7 「前」と「後ろ」の空間テンプレート (R は参照物体を示す)

CG を表示した。

教示文「この実験は、空間語表現に関するものです。呈示された表現が、どれくらい絵に当てはまるかを答えてください。トライアル 8 問、課題 208 問が出題されます。前に行った課題を参考にせず、各課題ごとに判断を行ってください。下の例では、ボールは箱の“前”(あなたの側)に置かれています。以上の手順を理解した後、下の「トライアル開始」ボタンを押してください。トライアルが始まります。」

被験者は実験に慣れるために 8 ケースの練習トライアルを行い、引き続き 208 ケースの本番トライアルを行った。被験者には 9 件法により「1: あてはまらない」から「9: あてはまる」の間で最も適すると思われる番号を選択させた。被験者の回答時間に関する制限は設けなかった。

3.3 結果

3.3.1 基準軸の頑健性と評定値のゆれの確認

表 2 に、被験者の平均評定値の結果を示す。

まず、空間テンプレートの各セルについて、全被験者による平均評定値を見ると、最適合領域を構成する三つのセルは、どの条件においてもすべてのセルの中で最も評定値が高く、空間語にとっての基準軸(または典型軸)であることが確認できた。この

ことから、参照物体と指示物体のサイズが変化しても基準軸には頑健性があることが分かった。

一方、空間テンプレートのどの領域において被験者間の判定に差異が出てくるかを最適合領域、適合領域、不適合領域のそれぞれについて、各領域セルの評定値の分散の平均を調べた。その結果、空間語(2 通り) × 参照物体サイズ(2 通り) × 指示物体サイズ(2 通り) = 計 8 通りで、この組合せでの各領域の分散の平均は、最適合領域が 0.29、適合領域が 3.46、不適合領域が 2.60 だった。これより、最適合領域は他の領域よりも分散が小さく、不適合領域と適合領域の分散はそれよりも大きかった。

以上の結果から、本研究では、物体サイズが変化した時の空間語の指示領域の変化について、適合領域を対象に分析を行う方針を定めた。

9 件法による評定の結果は、208 トライアルに対して被験者全体の合計で見ると、評定 9 が 29.1%を占め、評定 2, 3, 4, 5 が 4.4%から 6.0%の範囲にあり、評定 1, 6, 7, 8 が 10.5%から 14.6%の範囲に分布していた。トライアル条件を設定した空間テンプレート上の最適合領域、適合領域、不適合領域の割合を考えると、この結果は妥当であると考えられる。

3.3.2 適合領域を対象とした分散分析

参照物体と指示物体のサイズが変化したときの空間語領域に与える影響を調べるため、適合領域を対象に分散分析を行った。

目的変数を被験者による適合領域の平均評定値、説明変数を空間語（2水準）、参照物体サイズ（2水準）、指示物体サイズ（2水準）の3要因として3元配置分散分析を実施した。

この結果、参照物体サイズの主効果（図8）と空間語と指示物体サイズの交互作用（図9）が確認できた（ $F(1, 91) = 77.12, p < .001$; $F(1, 91) = 7.44, p < .01$ ）。空間語および指示物体サイズには主効果が見られなかった（それぞれ、 $F(1, 91) = .35, p = .56, n.s.$; $F(1, 91) = 2.09, p = .15, n.s.$ ）。

3.4 考察

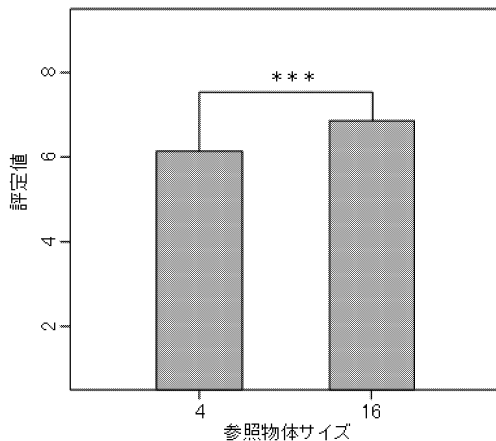


図8 実験2：参照物体サイズの主効果
(***) $p < .001$

図8に示すように、参照物体サイズによる主効果については、参照物体サイズが大きいと評定値が1ポイント弱上昇していることが分かった。これは、参照物体サイズの横幅が広がるため、それに応じて受領領域も広がることを示しており、AVSモデル（Regier & Carlson, 2001）が提唱する注意のメカニズムとも整合する結果である。

空間語と指示物体サイズの交互作用については、図9に示すように、評定値の変動はほぼ1ポイント内で起きており、その差はわずかなものであった。しかし、重要な点は、指示物体が大きいと「後ろ」

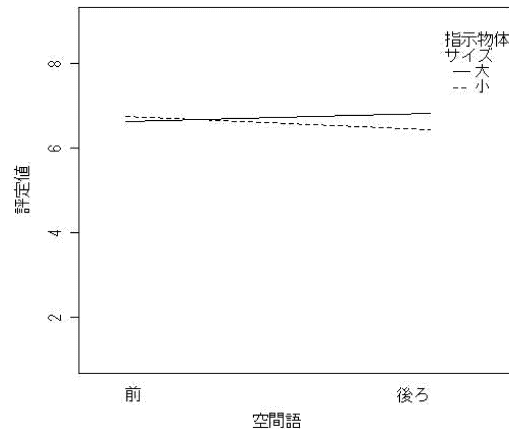


図9 実験2：空間語と指示物体サイズの交互作用

が「前」よりも評定値が高く、逆に、指示物体が小さいと「前」が「後ろ」よりも高いという点である。つまり、指示物体サイズの違いにより「前」と「後ろ」の評定値の大小が逆転している。Imai et al. (1999)によれば、固有前方を持たない今回のような参照物体を用いた場合、「前」と「後ろ」の指示領域がほぼ対称になり、一方で、固有前方を持つ参照物体の場合、「後ろ」が「前」よりも広い領域を占める傾向があるとの報告がある。しかし、本実験の結果は、前後での差が指示物体のサイズに影響を与える可能性を示唆している。指示物体のサイズが大きくなることで、参照物体の後ろ側に置かれた物体に対する注意が高まり、三次元空間での遠近感（奥行き）による物体サイズの縮退による評定値を下げる効果を打ち消す効果があることと、もう一つは、空間テンプレートの「後ろ」の適合領域が基準軸を中心に小さく見えてしまうために、基準軸から少し遠い位置に指示物体が置かれても基準軸の近くに見えるという効果（ここでは三次元効果と呼ぶ）が生じるという説明ができる。一方、別の考え方として心的回転による説明も可能である。Tarr & Pinker (1990)によって、人は三次元形状の物体を見た場合に心的回転を行っていることが確認されており、これは物体認知における視点位置独立のメカニズムとして知られている。空間語の指示領域を判断するプロセスにおいても、このような心的回転が行われ、奥行きや視点位置の違いを考慮して、二次元平面の空間テンプレートとマッチングを行うような処理が行われている可能性もある。このような点を

明らかにするため、実験 3 では、引き続き、「前」と「後ろ」について、視点位置を変化させた場合の幾何的要因の変化の影響について調べる。

4. 実験 3: 視点位置と指示物体サイズの影響

4.1 実験の目的

本実験では、視点位置の高さの違いによる見え方の違いや三次元空間特有の奥行きの影響も幾何的要因の重要な要因と考え、投射型空間語の「前」と「後ろ」に対して、視点位置の高さと指示物体サイズが変化したときに、各空間語の適合領域がどのように変化するかについて調べる。位相型空間語についても同様の実験をすべきであるが、今後の課題とする。

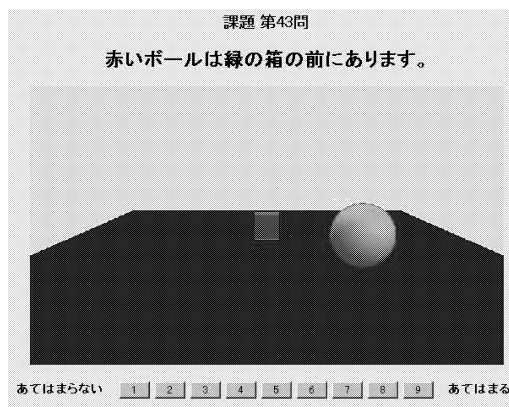


図 10 実験 3 で用いた説明文と 3-D CG の例

4.2 方法

4.2.1 被験者

17 名の大学の学部生および大学院生を被験者として、大学の計算室で実験を行った。その内の 1 名が 50 回以上連続して同じ評定 (9) を繰り返したため分析対象からは除外し、合計 16 名のデータを分析した。被験者にはあらかじめ、謝金が支払われることを通知した。なお、実験 1 と実験 2 の被験者はこの実験には参加していない。

4.2.2 材料

コンピュータディスプレイを用いて、被験者に図 10 に示す説明文と 3-D CG を同時に呈示した。実

験 2 と同様に、説明文に用いた空間語は、投射型空間語の「前」と「後ろ」で、「赤いボールは緑の箱の前にあります」と「赤いボールは緑の箱の後ろにあります」の 2 パターンのどちらかを画像の上に表示した。呈示する画像は、実験 1、実験 2 と同様に OpenGL であらかじめ作成し、幅 561 ピクセル、高さ 330 ピクセルの固定サイズで web ブラウザ上に表示した。参照物体である緑の立方体と指示物体である赤い球の二つを描画した。この実験では、参照物体サイズと位置は固定で画面の中央に置き、プログラム内の定義で各辺が 4 の立方体を用いた。一方、指示物体は二種類のサイズを用意し、小さいサイズのものは直径が 2、大きいサイズのものは直径を 8 にした。また、指示物体の位置は、実験 2 と同様に、説明文内の空間語「前」と「後ろ」に対応し、空間テンプレートの異なる領域に置いた。視点位置の高さについては、視点と参照物体間の水平面上の距離 (60) を一定にし、視点から参照物体への視線とグラウンドとの迎角を 10 度 (低)、45 度 (中)、80 度 (高) の 3 パターンを用意した。被験者一人当たりのトライアル数は合計 324 で、これは 2 (空間語数) × 2 (指示物体サイズ数) × 27 (セル数) × 3 (視点位置) の組合せで、被験者毎にランダムに呈示した。空間テンプレートのセルの 1 マスの辺の長さは 6 で、セルは不可視である。

4.2.3 手続き

実験 1、実験 2 と同様に、まず始めに「実験手順の説明」のページとして、以下の教示文と図 10 に示す 3-D CG を表示した。

教示文「この実験は、空間語表現に関するものです。呈示された表現が、どれくらい絵に当てはまるかを答えてください。トライアル 8 問、課題 324 問が出題されます (途中で 5 分間休憩があります)。前に行った課題を参考にせず、各課題ごとに判断を行ってください。下の例では、ボールは箱の“前”(あなたの側)に置かれています。以上の手順を理解した後、下の「トライアル開始」ボタンを押してください。トライアルが始まります。」

被験者は実験に慣れるために 8 ケースの練習トライアルを行い、引き続き 324 ケースの本番トライアルを行った。教示文にある通り、途中、162 番目のトライアルが終わった時点で 5 分間だけ休憩を与えた。被験者には 9 件法により「1: あてはまら

表 3 実験 3 の被験者の平均評定値の結果

空間語	前						後					
	高 (80 deg)		中 (45 deg)		低 (10 deg)		高 (80 deg)		中 (45 deg)		低 (10 deg)	
	大	小	大	小	大	小	大	小	大	小	大	小
最適合領域	8.94	8.88	9.00	8.92	8.92	8.83	8.58	8.96	8.75	8.92	9.00	8.85
適合領域	7.75	7.70	7.65	7.67	6.38	6.88	7.36	7.60	7.52	7.64	6.9	7.10
不適合領域	2.75	2.5	2.09	2.76	2.91	3.13	2.16	2.29	3.32	2.47	4.93	3.39

ない」から「9:あてはまる」の間で最も適すると思われる番号を選択させた。被験者の回答時間に関する制限は設けなかった。

4.3 結果

4.3.1 基準軸の頑健性と評定値のゆれの確認

表 3 に、被験者の平均評定値の結果を示す。実験 2 と同様に、空間テンプレートのセルについて、全被験者による評定値の平均を調べた。その結果、空間語、視点位置、指示物体サイズの違いに関わらず、すべての条件の組合せにおいて、最適合領域の三つのセルが最も高い評定値を示し、「前」および「後ろ」の基準軸であることが確認できた。

さらに、実験 2 と同様に、空間テンプレート上の三つの領域である最適合領域、適合領域、不適合領域について、各領域セルの評定値の分散の平均を調べた。その結果、空間語 (2 通り) × 指示物体サイズ (2 通り) × 視点位置 (3 通り) = 計 12 通りで、この組合せでの各領域の分散の平均は、最適合領域が 0.37、適合領域が 2.49、不適合領域が 3.76 だった。これより、最適合領域は常に他の領域よりも分散が小さく、不適合領域と適合領域の分散はそれよりも大きかった。この結果は、実験 2 と同じ傾向である。

9 件法による評定の結果は、324 トライアルに対して被験者全体の合計で見ると、評定 9 が 33.0%を占め、評定 2, 3, 4, 5 が 4.0%から 7.5%の範囲にあり、評定 1, 6, 7, 8 が 9.5%から 14.4%の範囲に分布していた。実験 2 と同様に、トライアル条件を設定した空間テンプレート上の最適合領域、適合領域、不適合領域の割合を考えると、この結果は妥当であると考えられる。

4.3.2 適合領域を対象とした分散分析

実験 2 と同様に、視点位置と指示物体のサイズが変化したときの空間語領域に与える影響を調べるた

め、幾何的要因の影響を適切に反映している可能性の高い適合領域を対象に分散分析を行った。

目的変数を被験者による適合領域の平均評定値、説明変数を空間語 (2 水準)、視点位置 (3 水準)、指示物体サイズ (2 水準) の 3 要因として 3 元配置分散分析を実施した。この結果、視点位置 (図 11) および指示物体サイズについて主効果が見られ ($F(2, 165) = 44.31, p < .001$; $F(1, 165) = 4.74, p < .05$), 空間語と視点位置の間にも交互作用 (図 12) が認められた ($F(2, 165) = 5.26, p < .001$)。空間語の主効果と、空間語と指示物体サイズの間での交互作用は認められなかった ($F(1, 165) = 5.26, p = .82$; $n.s.$; $F(1, 165) = .03, p = .86, n.s.$)。

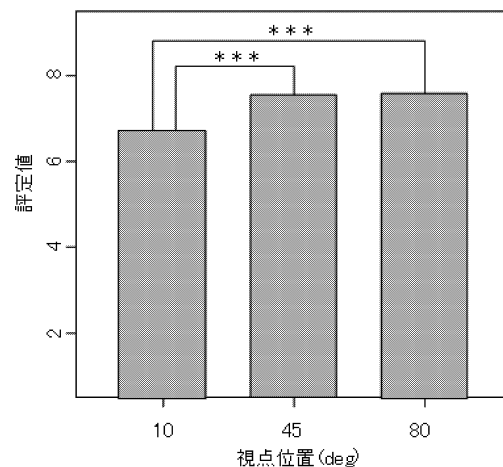


図 11 実験 3 : 視点位置の主効果
(*** $p < .001$)

視点位置の主効果については、図 11 から分かるとおり、視点位置が 10 度と低いときに評定値が大きく下がり、45 度と 80 度では評定値が 10 度よりも高くほぼ一定である。Tukey's HSD を実施した結果、10 度と 45 度、および 10 度と 80 度の間で、

それぞれ $p < .001$ の有意差があり、80 度と 45 度では有意差がないことから、視点位置が 80 度と 45 度はほぼ同じ傾向を持ち、視点位置が低い 10 度のみ異なる傾向があることが分かった。指示物体サイズの主効果については、サイズの違いによる平均評定値の差は 0.5 ポイント以下であるが、指示物体のサイズが小さい場合の評定値は、サイズが大きい場合の評定値と比較し有意に高かった。

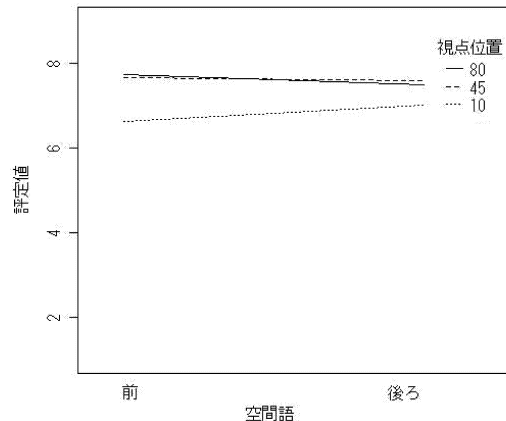


図 12 実験 3：空間語と視点位置の交互作用

4.4 考察

視点位置の主効果の分析から、視点位置が 10 度と低いときに評定値が大きく下がることが分かった。視点位置が低いときは、ほぼ真横近くから物体を見るために、参照物体から指示物体までの相対位置関係の把握が難しくなるためと考えられる。また、空間語と指示物体サイズの関係については交互作用は見られなかったが、指示物体サイズに 5% での主効果が見られ、一方、実験 2 では 1% の交互作用が得られているため、空間語と指示物体サイズの関係については、今後も引き続き検討を行う必要がある。

図 12 の空間語と視点位置の交互作用を見ると、視点位置の主効果でも述べたように、視点位置 80 度と 45 度の評定値は非常に類似した傾向を示しており、10 度とは明らかに異なっていることがわかる。前節で述べた心的回転に関していえば、80 度と 45 度の間での評定値の一致度の高さから、心的回転が行われている可能性を否定できない。

興味深い点は、80 度と 45 度で「後ろ」より「前」の評定値がやや高く、逆に、10 度では「前」より

も「後ろ」の評定値が高くなっている。これに対する説明としては、視点が低いと平面上での指示物体の位置情報の取得が困難になり、空間テンプレートを用了通常の適合度判定ができなくなるため、先に説明した三次元効果の影響がより優勢になる結果、「前」よりも広い領域で「後ろ」の評定値が高くなるという説明が考えられる。この理由に加えさらに、視点位置が低いために、心的回転による操作ができないという可能性も考えられる。実験 2 で、指示物体サイズが大きいときに「後ろ」が「前」よりも高い評定値を示した場合を含め、前後の適合度分布の非対称性や心的回転の存在について、今後、さらに調査が必要である。

5. 総合考察

5.1 幾何的要因の影響

今回の実験は、位相型、投射型空間語に関し、二物体間の空間関係の適合度の判断過程において、各々の空間語で幾何的要因から受ける影響が異なり、空間語毎に異なる認知モデルによる処理が行われているという可能性を示唆している。そして、各々の空間語に対して指示物体の適合度が算出された後、最も高い適合度を持つ空間語が選択されるという空間語選択のメカニズムが存在する可能性が高い。

Kelleher & Kruijff (2006) では、認知負荷の高低による空間語の選択容易性の観点から、位相型空間語は常に投射型空間語より選択されやすいという静的モデルを提唱している。彼らの主張によれば、位相対比型 (topological contrastive) < 位相相対型 (topological relative) < 投射対比型 (projective contrastive) < 投射相対型 (projective relative) という順序で空間語選択の認知負荷が増加し、負荷が低い空間語が優先的に選択される。ここで対比型 (contrastive) は単純な二物体関係を扱い、相対型 (relative) は参照物体周りに二つ以上の物体が存在する場合を示す。しかしながら、本研究が明らかにしたところでは、幾何的要因の変化に応じて、空間語選択は動的に選択の基準を変えないといけなくはない。基本として、ある一定の条件では位相型空間語が投射型空間語よりも選択されやすいという考え方は正しいと思われるが、実験で明らかになったように、様々な幾何的要因を考慮した場合には問題はそれほど単純ではない。Kelleher & Kruijff (2006) は、コンピュータグラフィックスを対象とし

た計算モデルに関して、空間語選択の計算過程で生じる属性や要因の組合せ爆発を解決するため、認知負荷に基づく順序化された空間関係の階層性を導入している。本研究では、「左」、「近い」、「遠い」に関し、幾何的要因が変化すると、Kelleherらが提案しているような階層性が常に成り立つわけではないことを明らかにした。すなわち、認知負荷の高低のみに着目した空間語選択のメカニズムに加え、幾何的要因を考慮したモデルを検討する必要がある。

一方、様々な幾何的要因を一度に大量に処理する認知モデルは認知負荷が高く、妥当ではないように思えるが、今回の実験で明らかになったように、「遠い」、「近い」、「左」のそれぞれの空間語処理は単純な逐次処理と特定要因を用いたスキーマによって構成されている可能性があり、複数の空間語処理が並列に行われていることを否定できない。

具体的には、「遠い」と「近い」の場合、参照物体と指示物体を発見するという物体認識処理の後、視野内で遠さの程度を決定するための環境における末端とそれに基づく注意の範囲の探索が行われ、最後に指示物体の適合度を計算するという逐次的処理が考えられる。一方、前後左右のような投射型空間語の場合は、物体認識の後、すぐに指示物体の適合度の計算が可能である。

参照物体からディストラクタまでの距離の影響について、Carlson & Logan (2001) は投射型空間語である “above” および “below” について実験を行い、ディストラクタ位置は空間語の適合度計算と無関係であると判断したが、Kojima & Kusumi (2005) ではこの判断を否定する結果を得ており、さらに今回の実験においてもディストラクタ位置の影響は有意であるという結果を得ている。今回、参照物体からの距離だけでなく、指示物体からディストラクタまでの距離も影響を持つこと、そして、その影響は空間語毎に異なる性質を持つことが明らかになった。なお、Carlson & Logan (2001) によれば、ディストラクタは、空間語の処理過程で適切な指示物体と参照物体を選択する段階でのみ影響を持つとしたが、今回の実験では、このような空間語の処理過程まで踏み込んだ検討をすることはできなかった。これは今後の課題である。

今回の実験で扱った「近い」について得られた結果と類似したモデルが、Kelleher, Kruijff & Costello (2006) によって提案されている。“near”の相対近

接性モデルと呼ぶ彼らのモデルでは、注意の及ぶ範囲の最も外側が壁であり、壁のある地点で “near” の適合度がほぼゼロに収束する。このモデルと同様の結果が、本研究においても確認されたが、より重要な点は、もしこのモデルが正しいのであれば、その時々状況において壁に相当する対象をいかに特定するかである。壁あるいは環境における末端が、通常、言語化されることが少ないことは注目に値する。つまり、参照物体と指示物体の二つが言語化されたとき、視覚情報として得られる別の隠れた物体である壁や末端が「近い」の適合度を決定するということを示しており、非常に興味深く、かつ重要である。これは「遠い」についても同様である。このことから、一般に、位相型空間語の適合度計算は、視覚入力と言語情報を統合したものである可能性が示唆される。仮に視覚情報がなく、言語情報のみを用いた位相型空間語の処理を行うような状況では、記憶に基づいた距離推定が行われることになるだろう。

実験2では、参照物体と指示物体の大きさが投射型空間語である「前」と「後ろ」の適合度分布に与える影響を明らかにすることができた。今回の実験で用いた図形は単純なものであり、極端なサイズや形状のものを用いたわけではなかった。Herskovits (1988) は、空間的に広がりを持った指示物体あるいは参照物体の例を議論している。曲がりくねった長細い道路の例では、道路に沿って観測点を動かし、一種の積分操作をすることで「道路の右の土地」についての判断ができるとしている。これに関連して、AVSモデル (Regier & Carlson, 2001) は、指示物体に対峙した参照物体全体からの注意ベクトルの積分を行い、一つの焦点化されたベクトルの起点を求める処理を提案している。これらの先行研究が示唆していることは、参照物体上の起点あるいは観測点の選択の重要性である。指示物体側で考えれば、これは終点をどこに置くかという問題でもある。今回はこの問題について深く検討することができなかったが、今後さらに検討を行う必要がある。

実験3では、我々が日々活動する三次元空間に潜む視点位置という幾何的要因の影響が無視できないという事実が明らかになった。特に、視点位置が低いときには、投射型空間語が通常の判断の基盤とする空間テンプレートの利用が困難となってくる。そのため、言い換えれば、空間語処理の最初の物体認

識処理として物体は発見されたものの、その後、物体の位置を物理的に判断することが難しいという問題がより本質的である。空間語処理においては、判断の材料となる要因がすべて手に入る場合と、このように、必要な要因が失われてしまうというケースがあることも考慮する必要がある。

以上、今回の三つの実験において得られた結果について総合的な考察を行った。空間語選択というタスクを幾何的要因の範囲内で考えただけでも、非常に複雑な関係が内在していることが判明したが、その中でも重要な点として、空間語処理過程の詳細化と各処理で空間語毎にどのような要因が利用されるのかをより正しく把握する必要性が明らかとなった。

5.2 幾何的要因以外の影響との関連

空間語選択の問題を広く捉えると、様々なレベルの問題が含まれていることに気づかされる。本研究では、幾何的要因という対象世界が変化したときの空間語の適合度分布のみを扱ったが、一方で、文脈や物体クラス（例えば、建物、机、猫、鉛筆などは異なる概念カテゴリの物体である）といった、知覚処理主体の幾何的要因とは異なるレベルの要因の影響が存在する。これらは経験や学習、記憶に基づいた空間語選択のアルゴリズムを担うと考えられ、その影響は空間語の適合度分布だけにとどまらない。

Morrow & Clark (1988) らは、説明文で述べられている指示物体と参照物体が実世界の中で実際に大きいかが指示物体と参照物体間の距離推定に影響を与えることを発見した。彼らの実験は今回の実験とは異なり、視覚情報を被験者に与えず、単に文章を与えていること、さらに、文章中の題材が実世界の物体であることに特徴がある。その意味で、彼らの実験は、被験者の記憶や知識に基づく実世界における距離推定になっている。一方で、本研究は呈示した 3-D CG 物体の幾何的關係のみを扱ったため、空間語に対する純粋な幾何的要因の影響を計測できた。ディストラクタが存在する場合の空間語と指示物体サイズの関係の分析からは、大きな物体になればなるほど距離推定が大きくなるという結果が得られ、彼らの実験結果を支持する結果となった。問題設定が異なるこれら二つの結果の解釈を無条件に同じに扱うことはできないが、少なくとも単純な幾何図形のレベルで、ディストラクタの影響下では、大きい物体が位相型空間語の遠さの程度を増

大させることが判明した。このレベルの認知的特性を、実世界に関連付けるという作業は、今後の課題である。

一方、空間語選択における大きなテーマとして、参照枠選択における曖昧性解決 (Carlson-Radvansky & Irwin, 1994) の問題や文化（日本人とアメリカ人の違いなど）の影響 (Mainwaring et al., 2003) がある。これらの場合、左右あるいは前後の方向自体が逆転するため、空間語選択はまったく異なるレベルの問題になってくる。

もう一つ忘れてならないのは、対象物体が持つ機能的要因 (Coventry & Garrod, 2004) の問題である。基本的には、参照物体の基準軸をどこに置くかが機能的要因によって決定されるというレベルの問題と考えられるが、機能自体を正しく把握するためには、文脈の理解や人がその物体にどのように関わるか、あるいはどのように使うのかといった理解が欠かせない。Herskovits (1988) は、知覚表象と空間語の中間に、理想的意味あるいはプロトタイプの概念カテゴリといった幾何的概念化を置くことの必要性を訴えたが、機能的要因の延長上には、このような概念化を通した空間語の利用というテーマが存在する。本研究では、知覚レベルでの幾何的要因が各々の空間語に対して異なる影響を持つことを明らかにしたが、抽象度の低い空間語運用のレベルですでに、概念化の基盤の一部が形成されていると考えることもできる。ここで重要な点は、数多くの属性や要因の中で、限られた一部の要因に対して選択的注意が当てられているという事実である。空間語選択のメカニズムの背景には、今見てきたように、幾何的要因以外の数多くの問題や現象が存在する。しかしながら、人は空間語選択の場面で、それほど多くの要因を同時に考慮してはいないと考えられるため、注意とそれに基づく要因選択のプロセスをモデル化することが重要である。

6. まとめと今後の展望

本研究では、空間認知における空間語選択の問題を題材に、幾何的要因を変化させたときに、空間語指示領域がどのように変化するかを被験者実験により調べ、各空間語の持つ性質を明らかにした。特に、様々な要因がある中で、各々の空間語が異なる注意の範囲と要因の利用を持つことを明らかにした。

今後は、幾何的要因の範囲内での空間語選択のメ

カニズムを実験を通してさらに詳細化し、数理的な認知モデルを構築することを考えている。この中で、個別の空間語モデルに関しては、Gapp (1995) によるモデル、AVS モデル、投影的空間表現語指示領域適合度計算モデル ACAP (小島, 2007) などの心理学実験に基づくいくつかのモデルについて検討を行う必要がある。さらに、言語の面からの興味としては、程度の修飾語(「ちょっと右」「だいぶ後ろ」など)や複合表現(「右後ろ」「左前」など)などをいかにモデルに取り込むかに関して検討を行いたい。さらに将来的には、総合考察で述べたように、幾何的要因以外の様々な要因との関連についても検討を行いたいと考えている。

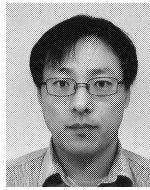
文 献

- Carlson-Radvansky, L. A., & Irwin, D. E. (1994). Reference frame activation during spatial term assignment. *Journal of Memory and Language*, 33, 646–671.
- Carlson, L. A. & Logan, G. D. (2001). Using spatial terms to select an object. *Memory & Cognition*, 29, 883–892.
- Carlson, L. A., & Van Deman, S. R. (2004). The space in spatial language. *Journal of Memory & Language*, 51, 418–436.
- Carlson, L. A. & Covey, E. S. (2005). How far is near? Inferring distance from spatial descriptions. *Language and Cognitive Processes*, 20, 617–632.
- Coventry, K. R., & Garrod, S. C. (2004). *Saying, Seeing, and Acting: The Psychological Semantics of Spatial Prepositions*. Psychology Press.
- Gapp, K.-P. (1994). Basic meanings of spatial relations: Computation and evaluation in 3D space. In *Proceedings of AAAI-94*, Seattle, WA, 1411–1417.
- Gapp, K.-P. (1995) Angle, Distance, Shape, and their Relationship to Projective Relations. In 17th Conf. of the Cognitive Science Society.
- Hayward, W.G., & Tarr, M.J. (1995). Spatial language and spatial representation. *Cognition*, 55, 39–84.
- Herskovits, A. (1986). *Language and spatial cognition: An interdisciplinary study of the prepositions of English*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Imai, M., Nakanishi, T., Miyashita, H., Kidachi, Y., & Ishizaki, S. (1999). The Meaning of FRONT/BACK /LEFT/RIGHT, *Cognitive Studies*, 16(2), 207–225.
- Kelleher, J., & van Genabith, J. (2005). A Computational Model of the Referential Semantics of Projective Prepositions. In P. Saint-Dizier. (Eds.) *Computational Linguistics: Dimensions of the Syntax and Semantics of Prepositions*, Kluwer Academic Press, 211–228.
- Kelleher, J, Kruijff, G.J., and Costello, F. J. (2006). Proximity in context: An empirically grounded computational model of proximity for processing topological spatial expressions. In *Proceedings of the 21st International Conference on Computational Linguistics and 44th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics*, 745–752.
- Kelleher, J. and Kruijff, G.J. (2006). Incremental Generation of Spatial Referring Expressions in Situated Dialogue. In *Proceedings of COLING-ACL '06*. Sydney, Australia Association of Computational Linguistics, 1041–1048.
- Kojima, T., & Kusumi, T. (2004). The relationship between Japanese spatial terms and visual factors in three-dimensional virtual space. *Language Understanding and Action Control Annual Project Report*, 38–46.
- Kojima, T. & Kusumi, T. (2005). The effect of visual similarity between an object and the ground plane on understanding spatial relationships. *Language Understanding and Action Control Annual Project Report 2005*, Grant-in-Aid for Creative Basic Research (13NP0301), 39–48.
- 小島隆次 (2006). 指示対象の複数呈示による空間表現語理解の変容. 日本心理学会第 70 回大会発表論文集, 650.
- Kojima, T. & Kusumi, T. (2006). The effect of the extra object on the linguistic apprehension of spatial relationship between two objects. *Spatial Cognition and Computation*, 6, 145–160.
- 小島隆次 (2007). 投影的空間表現語指示領域適合度計算モデル ACAP, 第 24 回日本認知科学会発表論文集, 52–53.
- Mainwaring, Tversky, Ohgishi, & Schiano. (2003). Descriptions of Simple Spatial Scenes in English and Japanese. *Spatial Cognition and Computation*, 3, 3–42.

- Morrow, D. G., & Clark, H. H. (1988). Interpreting words in spatial descriptions. *Language and cognitive processing*, 3, 275-292.
- Logan, G. D., & Sadler, D. D. (1996). A computational analysis of the apprehension of spatial relations. In P. Bloom, M.A. Peterson, L. Nadel, & M. Garrett (Eds.), *Language and space*. Cambridge, MA: MIT Press, 493-529.
- Regier, T., & Carlson, L. A. (2001). Grounding spatial language in perception: An empirical and computational investigation. *Journal of Experimental Psychology: General*, 130, 273-298.
- Tarr, M., & Pinker, S. (1990). When does human object recognition use a viewer-centered reference frame? *Psychological Science*, 1, 253-256.
- Tokunaga, T., Koyama, T., Saito, S., & Nakajima, M. (2004). Classification of Japanese spatial nouns. *Proceedings of 4th International Conference on Language Resources and Evaluation: LREC2004*, 1829-1832.

(Received 20 Oct. 2007)

(Accepted 7 Jan. 2008)



小林 竜己 (学生会員)

1997年名古屋大学大学院多元数理科学研究科博士課程前期課程修了。1999年名古屋大学大学院人間情報学研究科博士課程後期課程中途退学。東京工業大学大学院情報理工学研究科計算工学専攻博士課程に社会人学生として在学中。これまで、自然言語処理、検索エンジン、Robotics、航空機関連等の各種研究開発に従事。現在、ヤフー株式会社に勤務。人工知能学会、言語処理学会、電子情報通信学会などの会員。



寺井 あすか (正会員)

2003年東京工業大学大学院社会理工学研究科人間行動システム専攻博士課程修了，博士（工学）。現在，東京工業大学21世紀COEPD研究員。これまで，意思決定，比喩理解等のモデル構築に関する研究に従事。日本心理学会，日本社会心理学会，日本教育工学会，Psychometric Society 各会員。



徳永 健伸

1983年東京工業大学工学部情報工学科卒業。1985年同大学院理工学研究科修士課程修了。同年(株)三菱総合研究所入社。1986年東京工業大学大学院博士課程入学。現在，同大学大学院情報理工学研究科教授。博士（工学）。自然言語処理，計算言語学，情報検索などの研究に従事。情報処理学会，人工知能学会，言語処理学会，計量国語学会，Association for Computational Linguistics，ACM SIGIR 各会員。