

参照表現生成のための投射型空間語の選択

綿谷 俊昭[†] 飯田 龍[†] 徳永 健伸[†] 寺井 あすか[‡]
 東京工業大学 東京工業大学
[†] 大学院情報理工学研究所 [‡] グローバルエッジ研究院

1 はじめに

参照表現の生成は言語生成研究の中でもとりわけ活発に研究されてきた分野である (Krahmer and van Deemter, 2012). 初期の研究では, 色, 形, 大きさなど, 主に指示対象固有の属性を組み合わせ, 聞き手が迷うことなく対象を同定できる表現を生成することに関心が払われていた (Dale and Reiter, 1995), その後, 指示対象を集合に拡張したり (van Deemter, 2000; van Deemter, 2002), 他の物体との関係, 特に空間的な関係を利用した表現の生成にその関心は広がっている (Dale and Haddock, 1991; Horacek, 1997; Krahmer and Theune, 2002; Kelleher and Kruijff, 2006). 関係を用いた参照表現は聞き手の解釈に要する認知的負荷が高いため, 対象固有の属性を用いた表現よりは敬遠される傾向にある (Viethen and Dale, 2008), 対象固有の属性だけでは指示対象を十分に区別できない場合や, ロボットとのインタラクションのように状況を共有した対話の中では, 空間関係を用いた参照表現は重要な役割を担う.

空間関係は英語では “above”, “near” などの前置詞を利用して表現されることが多いが, 日本語では名詞 (空間語) を使って表現される (Tokunaga et al., 2005). 空間語は「近く」「遠く」などの距離の程度を表す位相型空間語と「右」や「左」などの方向を表す投射型空間語に分類できる (Levinson, 2003; Coventry and Garrod, 2004). 空間語を用いて参照表現を生成する際には, どの物体を基準にしてどの物体を指すのかが重要となる. 以下, 基準となる物体を参照物体, 指す物体を指示物体と呼ぶ.

従来の参照表現生成研究では, 空間語を経験的な基準に基づいて選択しており, その選択の妥当性には注意が払われていなかった. 一方で認知科学においては人間の認知モデルや認知プロセスを調べる研究の一環として空間語が研究されている.

たとえば Logan and Sadler (1996) は人間が空間テンプレートという空間語表現の適切さのマップを持ち, それを実際の物体にあてはめて空間語を選択していると仮定し, この空間テンプレートを求める実験を行った. この実験では, 中央に参照物体, その周辺に指示物体を配置した図と, その2つの物体の空間的関係を記述した言語表現を刺激として与え, 図に対する表現の適切さを被験者に評定さ

せている. 実験に用いられた空間関係は “above”, “below” などの10種類で, それぞれについて図1のような空間テンプレートを求めている.

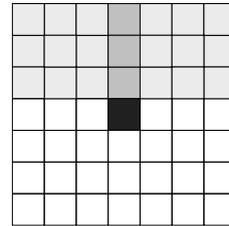


図1: “above” の空間テンプレート

Logan and Sadler (1996) は実験結果から, 最も適合度が高い参照物体からの線を基準軸として設定した. たとえば, 参照物体から水平右方向を0度とすると「右」「上」の基準軸は, それぞれ0度および90度の半直線となる. さらに, この基準軸を基に投射型空間語の空間テンプレートを3つの領域に分け, 参照物体に対して空間表現が最もあてはまる最適領域 (図1の濃灰領域), 表現が許容される適合領域 (同淡灰領域), 表現が許容されない不適合領域 (同白領域) を定義した.

また, Gapp (1995) は空間テンプレートにおいて, どのような要因が適合度に影響を与えるか調べた. この研究では参照物体のサイズ, 指示物体のサイズ, 参照物体と指示物体の角度及び距離を変え, 様々な配置で表現の適切さを被験者実験により求めている.

この研究では, いずれも上下左右方向を対象としており, 「右上」などの斜め方向の投射型空間語の空間テンプレートは求められておらず, 以降の研究でも斜め方向の空間語はほとんど着目されてこなかった. しかしながら斜め方向の投射型空間語は垂直, 水平方向とは異なる幾何的要因が影響する可能性があり, 単なる2方向の合成では解決できない可能性がある. これらの背景をふまえ, 本研究では斜め方向の投射型空間語「右上」に着目し, 被験者実験により空間テンプレートを求めた. その際, 物体のサイズや背景のアスペクト比といった幾何的要因を変化させ, その影響を分析する.

2 実験1:「右上」の空間テンプレート

本実験では、斜め方向の空間テンプレートを求め、さらに、物体のサイズや背景のアスペクト比といった幾何的要因の影響を調査する。ここでは「右上」、「右下」、「左上」、「左下」の適合度分布が上下左右と同様に対称である (Logan and Sadler, 1996) と仮定し、「右上」のみ空間テンプレートを求める。

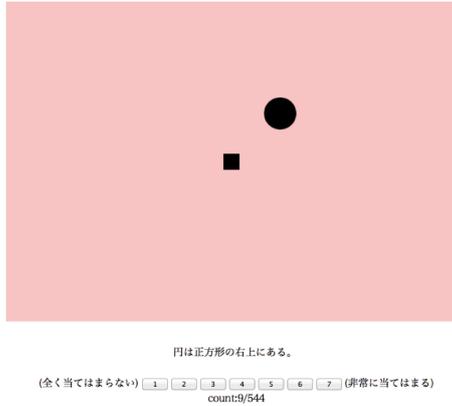


図 2: 実験に用いた刺激の例

図 2 に示すように、実験では画面上に参照物体 (正方形) と指示物体 (円) を表示し、その下に提示した「円は正方形の右上にある」という表現がこの図を説明するのにどれだけ適切かを被験者に評定させた。評定は下にある 1 から 7 のボタン (数字の大きい方がより適切) を選択することによりおこなう。

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
E	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9
D	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9
C	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
B	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9
A	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9

図 3: 空間テンプレート中で指示物体を置く右上のセル

この実験では、図 3 に示すように参照物体の右上の領域を画面上一辺が 50 ピクセルの正方形のセル状に区切り、その中に指示物体を表示して各位置の適合度を評定させる。なお、セルの区切は被験者には見えない。評定する配置の総数は、(変化させる幾何的要因の組み合わせ) × (セルの数)、となる。変化させる幾何的要因は参照物体のサイズ (R) 2 通り (大: 50 × 50 ピクセル; 小: 25 × 25 ピクセル)、指示物体のサイズ (T) 2 通り (大: 直径 50 ピクセル; 小: 直径 25 ピクセル)、背景のアスペクト比 (A) 3 通り (1:1, 5:7, 5:9) で、計 12 通りの空間テンプレートが得られる。以下の説明のため、指示物体

を配置する各位置には図 3 に示すとおり記号を振る。図 3 はアスペクト比 5:9 の範囲にあるセルを表示しているが、アスペクト比 1:1 では 1-5 列, 5:7 では 1-7 列までしか表示されない。これらの要因から被験者が評定すべき配置の総数は、408 となるが、この数の配置を連続して評定すると作業が単調になり、被験者のモチベーションが低下してしまう。これを回避するために「右上」以外の位置にも指示物体を配置し、それに対応した表現を評定させるフィルター刺激を 136 用意した。フィルターも含めると一人の被験者が評定する配置の数は 408 + 136 = 544 となり、これらのすべての配置を被験者ごとにランダムな順番で呈示し、評定させる。ただしフィルターの結果は今回の分析に用いない。

	1	2	3	4	5
E	3.18	4.97	5.79	6.44	6.53
D	3.32	5.06	6.12	6.62	6.15
C	3.85	6.09	6.59	6.12	5.76
B	4.26	6.59	5.53	5.03	5.12
A	-	3.74	3.53	3.09	2.65

図 4: 空間テンプレート (R: 大, T: 大, A: 1:1)

3 実験結果

被験者は大学生 34 名で、うち男性 30 名、女性 4 名である。本実験で得られた空間テンプレートの一つ (参照物体サイズ, 指示物体サイズともに大, アスペクト比 1:1) を図 4 に示す。この図は参照物体 (黒い正方形) の右上の領域を表しており、各セル中の値は被験者の評定の平均値である。図 4 より参照物体から右上 45 度の直線上に最適合領域があることがわかる。以下では基準軸としてこの 45 度の線を用いる。

表 1: 4 要因 (A, R, T, L) 分散分析結果

効果	DFn	DFd	F	p	p < .05
A	2	66	1.866	1.627e-01	
R	1	33	19.26	1.102e-04	*
T	1	33	0.4523	5.059e-01	
L	23	759	132.0	5.359e-247	*
A-R	2	66	0.3441	7.100e-01	
A-T	2	66	2.242	1.142e-01	
R-T	1	33	16.14	3.193e-04	*
A-L	46	1518	2.087	3.395e-05	*
R-L	23	759	2.549	9.412e-05	*
T-L	23	759	1.548	4.871e-02	*
A-R-T	2	66	2.059	1.356e-01	
A-R-L	46	1518	1.561	1.002e-02	*
A-T-L	46	1518	0.9249	6.167e-01	
R-T-L	23	759	1.044	4.056e-01	
A-R-T-L	46	1518	0.7064	9.315e-01	

4 幾何学的要因の影響

実験設定に関わる要因の主効果, 交互作用があるかを調べるために参照物体のサイズ (R: 2 水準), 指

表 2: 対象物体の位置毎の 3 要因 (A, R, T) 分散分析結果 (*: $p < .05$)

位置	A	R	T	A-R	A-T	R-T	A-R-T
A2	.96	.00*	.13	.28	.67	.04*	.21
A3	.63	.45	.25	.66	.24	.04*	.48
A4	.10	.42	.90	.57	.56	.30	.93
A5	.04*	.10	.13	.02	.86	.00*	.30
B1	.84	.08	.22	.15	.27	.52	.65
B2	.45	1.0	.55	.83	.29	.20	.62
B3	.07	.08	.08	.01*	.66	.87	.91
B4	.01*	.66	.21	.21	.50	.47	.52
B5	.86	.95	.84	.01*	.08	.95	.84
C1	.12	.00*	1.0	.67	.43	.37	.93
C2	.04*	.52	.15	.13	.54	.07	.48
C3	.04*	.44	.44	.99	.83	.74	.82
C4	.07	.45	.88	.60	.20	.52	.70
C5	.35	.71	.22	.75	.43	.51	.68
D1	.85	.70	.02*	.81	.81	.12	.45
D2	.32	.08	.05	.98	.28	.91	.35
D3	.02*	.11	.67	.34	.70	.40	.51
D4	.11	.55	.10	.85	.66	.34	.15
D5	.45	.18	.23	.73	.17	.27	.37
E1	.85	.39	.51	.41	.53	.87	.55
E2	.38	.66	.25	.03*	.82	.14	.46
E3	.01*	.80	.75	.79	.09	.58	.07
E4	.00*	.32	.38	.32	.05	.86	.90
E5	.00*	.25	.49	.51	.57	.27	.56

示物体のサイズ (T: 2 水準), アスペクト比 (A: 3 水準), 指示物体の位置 (L: 24 水準) を要因として対応有りの 4 要因分散分析を行った。ただし, アスペクト比 1:1 に含まれない 5:7, 5:9 のセルはアスペクト比を要因とした比較ができないため, ここでは分析から除外した。結果を表 1 に示す。

また, 指示物体の位置に応じてどの要因の効果がみられるか調べるため, 指示物体の位置それぞれについて参照物体のサイズ (2 水準), 指示物体のサイズ (2 水準), アスペクト比 (3 水準) を要因とする対応有りの 3 要因分散分析を行った。結果を表 2 に示す。位置記号と指示物体の実際の位置の対応は図 3 に示した通りである。

表 1 より, 指示物体の位置と参照物体のサイズに主効果が見られる (L, R)。まず, 指示物体の位置による主効果は空間テンプレート上の位置によって適合度が異なることを示すだけで, 自明の結果である。また参照物体のサイズの主効果について, 参照物体が大きくなるとそれだけ適合領域が広がるため (小林 et al., 2008), 参照物体が大きい方がスコアが全体的に高くなることが予想できる。しかし, 平均値を調べると, 全体で参照物体が大きい方の平均値は 5.08 で, 小さい方の平均値は 5.19 となっており, 予想と逆の結果であった。これは, 参照物体が大きくなるとその分「右」や「上」の適合領域も大きくなるため, 「右上」の表現と比べ, 相対的に「右」や「上」の表現の適合度が高くなり, 「右上」の評定値が低くなったと考えられる。この説明は表 2 において「右」や「上」の最適領域に含まれる参照物体から水平, 垂直線上のセル (表 2 の A2, C1) に参照物体の主効果が見られ, それ以外のセルでは見られないことから支持される。

また, 表 1 にはアスペクト比の主効果が見られないが, 他の被験者との差が大きい被験者 (1 名) のデータを除外したところ, 主効果が見られた ($p = 0.048$)。アスペクト比も単独で影響する可能性がある。

表 2 ではいくつかの場所でアスペクト比の主効果が見られる。45 度の基準軸を境として, 軸の上方 (図 3 の C2, C3, D3, E3, E4, E5) ではアスペクト比 1:1 が最も高い評定値を得ており, 軸の下方 (A5, B4) ではアスペクト比 5:9 が最も高い評定値を得ていた。アスペクト比の変化により右上の背景の境界の影響が変わり, 境界に近い地点において適合度が変化したと考えられる。

次に参照物体の大きさと指示物体の大きさの交互作用については, 前述したように参照物体が小さい方が平均値が高かった。さらに参照物体が小さい場合, 指示物体も小さいほうが平均値が高くなっていった。これも前述した「上」や「右」などの他の軸との関係で説明できる。指示物体の大きさによって「右上」の適合領域は変化しないが, 「上」や「右」の最適領域と適合領域の間付近では指示物体の大きさの変化によって, 指示物体が「上」や「右」の最適領域と重なる領域の大きさが変化する。指示物体が大きくなった結果「右」や「上」の最適領域と重なる領域が大きくなり, 評定値が小さくなったと考えられる。表 2 では参照物体から水平線上のセル (A2, A3, A5) にこの交互作用が見られる。これらのセルは「右」の最適領域と適合領域の間に位置し, この説明を裏付ける。参照表現の大きさの主効果, 参照表現の大きさと指示物体の大きさの交互作用から, 斜め方向の投射型空間語の適合度は, 他の垂直, 水平方向の表現の軸から強く影響を受けることが示唆される。

各要因と指示物体の位置との交互作用については, その要因が指示物体の位置によって影響の仕方が異なるか否かを示す。アスペクト比, 参照物体サイズ, 指示物体サイズいずれも指示物体の位置と交互作用を持ち, これらが空間テンプレート上の位置によって異なる影響を持つことがわかる。

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
E	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9
D	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9
C	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9
B	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9
A		A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9

図 5: 追加実験のセル配置

表 3: 4 要因 (A, R, T, L) 分散分析結果 (新設定)

効果	DFn	DFd	F	p	p < .05
A	2	64	0.6897	5.053e-01	
R	1	32	0.01890	8.914e-01	
T	1	32	0.8460	3.645e-01	
L	23	736	551.9	0.000e+00	*
A-R	2	64	2.947	5.962e-02	
A-T	2	64	0.06364	9.383e-01	
R-T	1	32	3.517	6.985e-02	
A-L	46	1472	2.953	3.190e-10	*
R-L	23	736	1.242	1.999e-01	
T-P	23	736	1.889	7.262e-03	*
A-R-T	2	64	1.618	2.062e-01	
A-R-L	46	1472	1.300	8.721e-02	
A-T-L	46	1472	1.107	2.894e-01	
R-T-L	23	736	0.6186	9.187e-01	
A-R-T-L	46	1472	0.5304	9.960e-01	

5 実験 2: 「上」, 「右」の適合領域の影響

4 節の分析において, 参照物体サイズの主効果及び参照物体サイズと指示物体サイズの交互作用を垂直, 水平方向の表現の適合領域の影響によるものと説明した。しかし, 実際には他の要因によって物体サイズの効果が見られた可能性もあるため, 垂直, 水平方向の適合領域の影響を確かめるための追加実験を行った。追加実験では垂直, 水平方向の基準軸に近いセルでその基準軸からの影響が物体サイズの変化に反映されないように, セルの配置を変えた。具体的には図 5 のように, 垂直・水平方向の基準軸に近いセルをそれぞれセルの一辺の 1/2 だけ平行移動し, 垂直・水平方向の基準軸上に配置した。もし考察通りに物体サイズの効果が垂直・水平方向の表現の基準軸の影響によるものなら, この実験ではその効果が見られないはずである。これ以外の要素は 2 節の実験と全く同じで, 実験 1 の被験者と重複のない 33 名の被験者からデータを採取した。参照物体のサイズ (R: 2 水準), 指示物体のサイズ (T: 2 水準), アスペクト比 (A: 3 水準), 指示物体の位置 (L: 24 水準) を要因として対応有りの 4 要因分散分析を行った結果を表 3 に示す。予想通り, 参照物体サイズの主効果及び参照物体サイズと指示物体サイズの交互作用が見られなくなった。

6 結論

本稿では従来の研究で十分に調査されていなかった斜め方向の投射型空間語について空間テンプレートを求め, その分析を行った。

背景のアスペクト比によらず参照物体から 45 度の角度で適合度が最大になり, 斜め方向の最適領域が 45 度の基準軸上にあることがわかった。しかし, 特に背景の境界に近い地点ではアスペクト比の影響が見られ, 境界の近くの適合度が若干上がり, 基準軸上の適合度が若干下がることもわかった。また, 参照物体に近い領域では他の表現の基準軸からの影響が強くなり, 相対的に適合度が下がることがわかった。

今後の発展課題としては今回得られた空間テンプレートを基に斜め方向の投射型空間語も考慮に入れた参照表現生成手法を考案することが挙げられる。既存の参照表現生成手法とは異なり, 人間の認知モデルを考慮に入れることにより, より良い参照表現を生成できる可能性がある。

参考文献

- Kenny R. Coventry and Simon C. Garrod. 2004. *Saying, Seeing, and Acting*. Psychology Press.
- Robert Dale and Nicholas Haddock. 1991. Generating referring expressions involving relations. In *Proceedings of the Fifth Meeting of the European Chapter of the Association for Computational Linguistics*, pages 161–166.
- Robert Dale and Ehud Reiter. 1995. Computational interpretation of the Gricean maxims in the generation of referring expressions. *Cognitive Science*, 19(2):233–263.
- Klaus-Peter Gapp. 1995. Angle, distance, shape, and their relationship to projective relations. In *Proceedings of the 17th Annual Conference of the Cognitive Science Society*, pages 112–117.
- Helmut Horacek. 1997. An algorithm for generating referential descriptions with flexible interfaces. In *Proceedings of the 35th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics and Eighth Conference of the European Chapter of the Association for Computational Linguistics*, pages 206 – 213.
- John D. Kelleher and Geert-Jan M. Kruijff. 2006. Incremental generation of spatial referring expressions in situated dialog. In *Proceedings of the 21st International Conference on Computational Linguistics and the 44th annual meeting of the Association for Computational Linguistics*, pages 1041 – 1048.
- 小林 竜己, 寺井 あすか, 徳永 健伸. 2008. 空間語選択における幾何的要因の影響. *認知科学*, 15(1):144–160.
- Emiel Krahmer and Mrinet Theune. 2002. Efficient context-sensitive generation of referring expressions. In Kees van Deemter and Rodger Kibble, editors, *Information Sharing: Reference and Pre-supposition in Language Generation and Interpretation*, pages 223–263. CLSI Publications.
- Emiel Krahmer and Kees van Deemter. 2012. Computational generation of referring expressions: A survey. *Computational Linguistics*, 38(1):173–218.
- Stephen C. Levinson. 2003. *Space in Language and Cognition*. Cambridge University Press.
- Gordon D. Logan and Daniel D. Sadler. 1996. A computational analysis of the apprehension of spatial relations. In Paul Bloom, Mary A. Peterson, Lynn Nadel, and Merrill F. Garrett, editors, *Language and space (Language speech and communication)*, pages 493–529. The MIT Press.
- Takenobu Tokunaga, Tomofumi Koyama, and Suguru Saito. 2005. Meaning of Japanese spatial nouns. In *Proceedings of the 2nd ACL-SIGSEM Workshop on The Linguistic Dimensions of Prepositions and their Use in Computational Linguistics Formalisms and Applications*, pages 93–100.
- Kees van Deemter. 2000. Generating vague descriptions. In *Proceedings of First International Conference on Natural Language Generation (INLG-2000)*, pages 179–185.
- Kees van Deemter. 2002. Generating referring expressions: Boolean extensions of the incremental algorithm. *Computational Linguistics*, 28(1):37–52.
- Jette Viethen and Robert Dale. 2008. The use of spatial relations in referring expression generation. In *Proceedings of 5th International Natural Language Generation Conference*, pages 59–67.