

参照表現生成のための適切な投射型空間語の選択

綿谷 俊昭^{1,a)} 飯田 龍¹ 徳永 健伸¹ 寺井 あすか²

概要: 「右」, 「上」, 「近く」といった物体間の空間的関係を表わす空間語は参照生成表現において重要な役割を果たす。ある位置をある空間語で表現する時の適切さは認知科学の分野で空間テンプレートと呼ばれる表現を用いて研究されてきた。しかし, 既存研究では垂直・水平方向の空間語を中心に扱っており, 「右上」, 「左下」といった斜め方向の空間語についてはほとんど研究がされていない。本稿では, 斜め方向の空間語, 特に「右上」を取り上げ, その空間テンプレートを求めるための実験をおこなった。その結果, 斜め方向の空間語では背景のアスペクト比が空間テンプレートに影響を及ぼすことがわかった。また, 収集したデータを既存の適合性計算モデルにあてはめ, よい近似ができることを示した。アスペクト比を考慮することによりさらにモデルの改良できる可能性がある。

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て, 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)。しかし, 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, ロボットなど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。

参照表現の生成において, 物体の色や形といった属性だけで指示対象を弁別できない場合, 空間語を用いて指示対象の位置を明示する必要がある。しかしながら従来の参照表現生成研究では空間語の選択は経験的に行われ, 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”, “left of”, “right of”, “over”, “under”, “next to”, “away from”, “near to”, “far from” 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。

Logan and Sadler 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, 表現が許容される適合領域, 表現が許

¹ 東京工業大学大学院情報理工学研究所

² 東京工業大学グローバルエッジ研究院

a) watatani.t.aa@m.titech.ac.jp

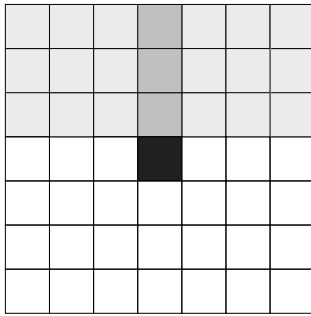


図 1 “above” の空間テンプレート

容されない不適合領域を定義した．図 1 は参照物体 (黒いセル) に対して “above” の関係の最適領域 (濃いグレーの領域)、適合領域 (薄いグレーの領域)、不適合領域 (白い領域) を表したものである．この場合、最適領域は参照物体の直上、適合領域は参照物体より上で最適領域でない領域、不適合領域は参照物体より下の領域になる．すなわち、参照物体が大きいほど最適領域が広がることになる．また、この領域は上下左右で対称であることを指摘している．

Gapp (1995) は Logan and Sadler に対して、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た．さらに、その結果を分析し、参照物体と指示物体の角度が適合度に強い影響を与えることを示した．また、この研究では Logan and Sadler では調べられなかった斜め方向の投射型空間語 (右上) についても調べているが、空間テンプレートは求められておらず、分析も距離と角度との関係を調べるだけに留まっている．斜め方向の表現については基準軸も実験的に確かめられていない．

参照表現生成において空間テンプレートを応用するには、参照物体と指示物体の位置に応じて各表現の適合度を調べ、最も適合度の高い表現を採用するという手法が考えられる．しかし空間テンプレートは空間をメッシュ状に切り取って調べた値であるため、任意の位置の適合度を調べるには、空間テンプレートの適合度に十分合致する適合度の計算モデルを考案しなければならない．認知科学では人間の認知モデルを構成する研究として適合度計算モデルも研究されており、Gapp (1994) や Regier and Carlson (2001) の研究がある．しかしながら、これらの研究も水平、垂直方向のみを研究対象としている．

参照表現生成において斜め方向の関係をもちいるためには斜め方向の空間テンプレートあるいは適合性計算モデルを垂直水平の空間テンプレートあるいは適合性計算モデルから合成して使うことも考えられるが、斜め方向を考えた場合、水平垂直方向では考慮されていない背景のアスペクト比などの新たな幾何学的特徴を考慮する必要がある可能

性もある．

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．さらに、既存の計算モデルとのフィッティングを試みる．

2. 空間テンプレートを求める実験

本実験の目的は、斜め方向の空間テンプレートを求めること、そしてその中で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、その影響を調査する事である．ここでは上下左右と同様に「右上」、「右下」、「左上」、「左下」の適合度分布が対称であると仮定し、「右上」のみを対象として空間テンプレートを求めた．



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) を押す事によりおこなう．

	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		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) \times (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)，指示物体のサイズ (T)，背景のアスペクト比 (A) である．参照物体の正方形のサイズは 2 通りで，一辺の長さが 50 ピクセル (大) と 25 ピクセル (小) とした．指示物体の円のサイズも 2 通で，直径が 50 ピクセル (大) と 25 ピクセル (小) とした．背景は図 2 のピンク色の領域のことで，アスペクト比とはこの領域の縦の長さとの横の長さの比である．この実験で用いたアスペクト比は 1:1, 5:7, 5:9 の 3 通りで，それぞれのサイズは 500 \times 500 ピクセル, 500 \times 700 ピクセル, 500 \times 900 ピクセルとした．アスペクト比によって「右上」にあたる領域の大きさが異なるので，セルの大きさを合わせるために各アスペクト比においてセルの数を変えた．ひとつのセルの大きさは 50 \times 50 ピクセルなので，1:1 では 5 \times 5 = 25 個，5:7 では 5 \times 7 = 35 個，5:9 では 5 \times 9 = 45 個のセルを用いる．ただし，参照物体が置かれるセルには指示物体を置く事ができないため，実際に指示物体を配置するセルの数はそれぞれ 24, 34, 44 となる．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，(参照物体のサイズの数) \times (指示物体のサイズの数) \times ((アスペクト比 1:1 のセル数)+(アスペクト比 5:7 のセル数)+(アスペクト比 5:9 のセル数))= 408 となる．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ラー刺激を 136 用意した．フィラ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．ただしフィラーの結果は今回の分析に用いない．

表 1 各被験者の評定値の平均値と標準偏差

被験者	平均値 (標準偏差)	被験者	平均値 (標準偏差)	被験者	平均値 (標準偏差)
1	5.04 (1.51)	10	5.93 (1.53)	19	4.94 (1.78)
2	5.32 (1.52)	11	5.98 (0.73)	20	4.11 (1.85)
3	5.11 (1.72)	12	4.71 (1.48)	21	4.08 (1.83)
4	5.77 (2.01)	13	5.31 (1.72)	22	5.07 (1.87)
5	4.84 (1.58)	14	4.42 (1.83)	23	5.97 (1.19)
6	3.69 (1.93)	15	5.57 (1.42)	24	2.89 (1.89)
7	6.24 (1.00)	16	5.38 (1.19)	25	4.60 (1.60)
8	4.19 (2.02)	17	3.90 (1.71)	26	5.34 (1.08)
9	5.81 (1.02)	18	4.50 (2.30)	27	4.36 (1.69)

3. 実験結果

被験者は大学生 27 名で，うち男性 23 名，女性 4 名である．表 1 に，被験者の平均評定値と標本標準偏差を示す．

本実験で得られた空間テンプレートは，参照物体のサイズ (R) が 2 通り，指示物体のサイズ (T) が 2 通り，アスペクト比 (A) が 3 通りの計 12 通りである．その一部 (参照物体サイズ，指示物体サイズともに大，アスペクト比 3 通り) を図 4, 5, 6 に，残りを付録に示す．これらの図は参照物体 (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．

	1	2	3	4	5
E	3.11	4.74	5.73	6.44	6.63
D	3.11	5.04	6.19	6.63	6.22
C	3.74	6.15	6.62	6.26	5.89
B	4.22	6.70	5.52	4.96	5.04
A	-	3.63	3.59	3.19	2.63

図 4 空間テンプレート (R: 大, T: 大, A: 1:1)

	1	2	3	4	5	6	7
E	2.74	4.52	5.70	6.07	6.33	6.44	6.44
D	2.81	4.96	6.15	6.52	6.19	5.85	5.70
C	3.63	6.11	6.59	5.96	5.70	5.48	5.33
B	4.30	6.73	5.59	5.22	4.48	4.44	4.11
A	-	3.85	3.33	3.41	2.93	2.96	2.52

図 5 空間テンプレート (R: 大, T: 大, A: 5:7)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
E	2.81	4.70	5.26	6.07	6.41	6.04	6.19	5.93	6.04
D	3.33	5.11	6.11	6.48	6.33	6.11	5.89	5.89	5.52
C	3.48	5.67	6.44	6.26	5.96	5.44	5.41	5.07	4.67
B	3.89	6.70	6.26	5.37	4.70	4.56	4.56	4.19	4.19
A	-	3.56	3.41	3.07	3.33	2.89	3.07	2.33	2.26

図 6 空間テンプレート (R: 大, T: 大, A: 5:9)

これらの図から，どのアスペクト比においても参照物体から右上 45 度の直線上に最適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．

4. 空間テンプレートの計算

まず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 2 に示す．

また，指示物体の位置に応じてどの要因の効果が見られ

表 2 4 要因 (A, R, T, L) 分散分析結果

効果	DFn	DFd	F	p	p < .05	η^2
A	2	52	2.948	6.123e-02		5.363e-04
R	1	26	19.08	1.779e-04	*	2.808e-03
T	1	26	0.090	7.662e-01		3.831e-05
L	23	598	107.9	1.428e-195	*	6.165e-01
A-R	2	52	0.404	6.693e-01		8.140e-05
A-T	2	52	3.986	2.450e-02	*	6.697e-04
R-T	1	26	10.40	3.387e-03	*	1.091e-03
A-L	46	1196	1.829	7.095e-04	*	6.857e-03
R-L	23	598	3.187	1.077e-06	*	6.218e-03
T-L	23	598	2.165	1.376e-03	*	4.976e-03
A-R-T	2	52	1.415	2.521e-01		2.137e-04
A-R-L	46	1196	1.883	3.954e-04	*	7.773e-03
A-T-L	46	1196	1.119	2.726e-01		4.377e-03
R-T-L	23	598	1.159	2.766e-01		2.478e-03
A-R-T-L	46	1196	1.118	2.753e-01		4.342e-03

表 3 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	.40	.00*	.09	.55	.33	.15	.00*
A3	.46	.22	.50	.60	.20	.01*	.26
A4	.63	.24	.55	.54	.36	.32	.99
A5	.11	.06	.08	.03*	.91	.00*	.62
B1	.79	.03*	.08	.06	.10	.20	.72
B2	.85	.42	.17	.28	.36	.64	.44
B3	.04*	.25	.26	.01*	.51	.83	.59
B4	.01*	.66	.23	.43	.86	.56	.98
B5	.85	.59	.26	.04*	.07	.85	.57
C1	.16	.01*	.46	.28	.30	.29	.87
C2	.10	.82	.13	.05	.57	.11	.39
C3	.15	.45	.40	.83	.53	.64	.70
C4	.03*	.23	.21	.39	.06	.78	.34
C5	.19	.87	.18	.39	.11	.62	.33
D1	.36	.25	.01*	.04*	.88	.33	.42
D2	.28	.15	.12	.95	.23	.81	.52
D3	.02*	.29	.61	.47	.64	1.0	.72
D4	.39	.26	.02*	.73	.32	.78	.65
D5	.05	.15	.23	.33	.11	.18	.45
E1	.92	.37	.47	.19	.26	.31	.10
E2	.93	.09	.09	.01*	.80	.14	.22
E3	.02*	.94	.95	.89	.23	.80	.11
E4	.02*	.69	.74	.76	.29	.52	.64
E5	.00*	.57	.64	.93	.89	.15	.93

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 3 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 2 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 (R-L)。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、「右上にある」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 3 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 3 の A2, B1, B2) 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 2 にはアスペクト比の主効果が見られないが、表 1 において他の被験者との差が大きい被験者 24 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 3 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 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 (B3, B4, C4) 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エッジの影響が変わり、エッジに近い地点において適合度が変化したと考えられる。

表 4 評定値の平均値：参照物体サイズ (R) - 指示物体サイズ (T)

R \ T	大	小
大	5.087	5.075
小	5.143	5.241

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、大きさの組み合わせ 4 通りで平均値を求めた結果を表 4 に示す。参照物体が小さい方が平均値が高いのは前述した通りである。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る。これも前述した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適合領域は変化しないが、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 3 では参照物体から水平線上のセル (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事が示唆される。

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。

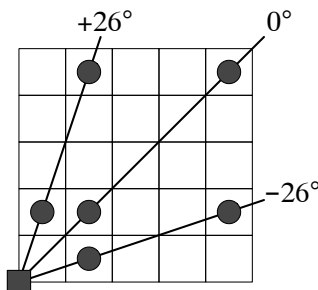


図 7 距離と角度の分析に用いたセル

次に参照物体からの距離と、角度がどのような影響を持つのか調べるために参照物体のサイズ (R: 2 水準), 指示物体のサイズ (T: 2 水準), 角度 (G), 距離 (D) を要因とする対応有りの 4 要因分散分析を行った。アスペクト比によってセル間の角度の値に違いがあるため、アスペクト比毎に対応を取る事が難しいので、アスペクト比は要因から除き、それぞれのアスペクト比で分析を行った。2 通り以上の距離が存在する角度は基準軸 45 度から見て +26 度, 0 度, -26 度の 3 つだけなので、角度は 3 水準, 距離は最も近いセルと最も遠いセルの 2 水準とした。図 7 に用いたセルを説明する図を示す。図 7 の角度 +26 度には図 3 における B1 と E2, 0 度には B2, C3, D4, E5, -26 度には A2 と B5 といった角度が等しく距離が異なるセルがあるが、他の角度ではこのような対応を取れない。分析の結果を表 5 に示す。

表 5 を見ると、まずどのアスペクト比においても角度に強い効果がある。また、距離は 5:7 において有意な効果が見られないが ($p = 0.0744$), それ以外では主効果があった。さらに、どのアスペクト比においても角度と距離の交互作用があった。

さらに、詳しく調べるために角度と距離について求めた平均値を表 6 に示す。まず角度について、どのアスペクト比においても明らかに 45 度の基準軸上での平均値が最も

表 5 4 要因 ((R, T, G, D) 分散分析結果 (*: $p < .05$)

	1:1	5:7	5:9
R	.1884	.0209*	.0006*
T	.7054	.0492	.0950
G	.0000*	.0000*	.0000*
D	.0094*	.0744	.0322*
R-T	.8910	.0115*	.1341
R-G	.0652	.0020*	.0132*
R-D	.0020*	.3000	.0381*
T-G	.7000	.0012*	.1975
T-D	.4989	.8205	.4021
G-D	.0006*	.0000*	.0000*
R-T-G	.7920	.1291	.2022
R-T-D	.8201	.1239	.8415
R-G-D	.0255*	.0347*	.2914
T-G-D	.6391	.2224	.4077
R-T-G-D	.4471	.0222*	.6248

表 6 評定値の平均値: 角度 (G) - 距離 (D)

1:1	+26	0	-26
近	4.269	6.574	4.102
遠	4.769	6.601	4.824
5:7	+26	0	-26
近	4.352	6.583	3.926
遠	4.722	6.269	4.787
5:9	+26	0	-26
近	4.269	6.611	4.009
遠	4.750	6.389	4.843

表 7 評定値の平均値: 角度 (G) - 参照物体サイズ (R)

G \ R	大	小
26	4.481	4.593
0	6.454	6.398
-26:9	4.139	4.574

表 8 アスペクト比毎の平均評定値と距離/角度の相関係数

アスペクト比	距離	角度
1:1	0.3166	0.0408
5:7	0.2080	0.2095
5:9	0.0529	0.2915

高くなっている．これはどのようなアスペクト比においても45度という角度が確かに効果を持つ事を意味する．また距離について，指示物体が基準軸上に無い場合には参照物体からの距離が遠い方が高い評定値を得ている．これは参照物体からの距離が大きくなる事により結果として「右」や「上」の軸からの距離も離れることで，「右上」の適合度が上昇したことが原因として考えられる．一方で指示物体が基準軸上にある場合，アスペクト比1:1では顕著な差が見られないが，5:7，5:9では参照物体からの距離が小さいほうが高い評定値を得ている．これは指示物体が参照物体の方に近い場合はアスペクト比の変化(エッジの変化)に反応しないが，指示物体が背景のエッジに近づくとエッジの影響を受けることを意味する．

参照物体のサイズと角度の交互作用について，アスペクト比1:1では統計的に有意な差ではなかったが，低い値を取っていた($p = 0.0652$)．特に差の大きいアスペクト比5:7で，サイズと角度について評定値の平均を調べた．結果を表7に示す．指示物体が基準軸上に無い場合(26, -26度)，参照物体が小さい方が高い評定値を得ている．これは前述した他の軸との関係と同様で，参照物体が大きいと他の軸(右と上)の最適領域が広くなり，相対的に「右上」の適合度が下がる．一方で指示物体が基準軸上にある場合(0度)，参照物体が大きい方が高い評定値を得ている．これは他の軸の影響が少ない角度では，参照物体が大きい方が「右上」の最適領域が広がるため，「右上」の適合度が高くなるためと考えられる．

上記分析ではアスペクト比と距離，角度の関係を調べていない．アスペクト比に応じて距離や角度の影響がどのように変わるか調べるため，各アスペクト比において，指示物体の参照物体からの距離と角度を評定値との相関から調べた．分析結果を表8に示す．

また，アスペクト比による相関係数の違いが統計的に有意であるか調べるため，異なるアスペクト比の標本を独立であるとみなして式(1)で与えられる統計量 Z_{ij} を計算し，両側検定を行った．ただし， i, j はアスペクト比に対応し， r_i はアスペクト比 i の相関係数， n_i はアスペクト比 i の標本数である．

$$\xi_i = \frac{1}{2} \ln\left(\frac{1+r_i}{1-r_i}\right)$$

$$|Z_{ij}| = \frac{|\xi_i - \xi_j|}{\sqrt{\frac{1}{n_i-3} + \frac{1}{n_j-3}}} \quad (1)$$

各アスペクト比の組ごとに角度，距離の Z の値を確率値とともに表9に示す．この Z の値は標準正規分布に従うことが知られており，有意水準.05で $|Z| > 2.57$ ならば有意水準.01で棄却できるので，これらのアスペクト比による相関には有意な差があると言える．

表9 アスペクト組毎の相関係数の Z 値

アスペクト比の組	$Z(p)$	
	角度	距離
1:1-5:7	7.962 (6.771E-15)	6.133 (2.717E-9)
1:1-5:9	14.43 (2.545E-46)	12.56 (2.525E-35)
5:7-5:9	6.751 (5.045E-11)	6.814 (3.295E-11)

表10 アスペクト組毎の相関係数の χ^2 値(共通領域のみ)

アスペクト比の組	$\chi^2(p)$	
	角度	距離
1:1-5:7	3.137 (0.077)	0.2278 (0.6332)
1:1-5:9	1.408 (0.235)	0.1422 (0.7061)
5:7-5:9	0.331 (0.565)	0.7398 (0.3897)

表8より角度と評定値の相関はアスペクト比によって大きく変わることがわかる．アスペクト比1:1が最も相関係数が低く，だんだん高くなる．背景の横幅が大きくなると基準軸から見た負の角度にあたるセルが増える．この領域では角度が大きくなると(基準軸に近づくと)評定値が上がるため，アスペクト比5:7，5:9ではこのセルの影響で若干の正の相関が見られるようになっていると考えられる．

一方，符号を無視して基準軸からの角度の絶対値との相関係数を調べると，アスペクト比1:1，5:7，5:9でそれぞれ-0.9686，-0.9539，-0.9379となり，相関係数どうしの差は有意ではなかった．アスペクト比の違いは角度の絶対値と適合度の相関に影響しないことが示唆される．従来の適合度計算手法では角度の絶対値を使うことが多いため，アスペクト比の影響を考慮する場合は角度も符号付きで考える必要がある．

さらに，距離と評定値の相関もアスペクト比によって大きく変わっている．表8を見ると，アスペクト比1:1が最も相関係数が高く，だんだん低くなっている．1:1のアスペクト比では最も距離が大きい点は画面右上(図3のE5)で，次いで大きい点はその周囲(E4, D5)である．どれも「右上」の適合度が高い点で，特に1:1のアスペクト比ではこういった特徴が相関係数を大きくしたと考えられる．一方5:7や5:9では1:1と比べ距離が大きい地点が多く，その中には「右上」の適合度が低い点もある．これらの要因が相関係数の差に影響したと考えられる．すべてのアスペクト比に共通の領域について，アスペクト比による相関係数の差の違いを検定(対応あり)した結果を表10に示す．この表からわかるとおり3つのアスペクト比に共通の領域では相関係数に有意な差がなく，共通領域以外の6列から9列の領域で差が生じていることを支持している．

5. 適合性計算モデルの評価

次に，既存モデルを用いて平均評定値へのフィッティングを試みた．ここではProximal and Center of mass(PC)モデルとAttentional Vector Sum(AVS)モデル(Regier and

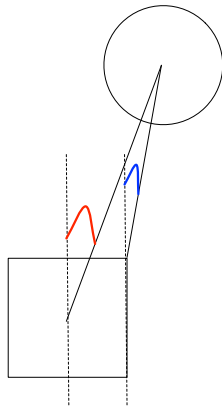


図 8 PC モデル

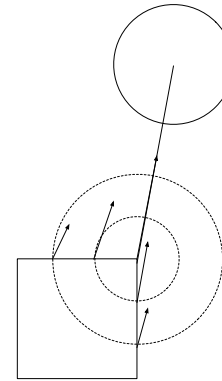


図 9 AVS モデル

Carlson, 2001) を用い、最小二乗法によりパラメータを最適化した。

PC モデルは参照物体と指示物体の角度から適合度を計算する手法である。指示物体の重心から、指示物体に最も近い参照物体上の点にのぼした直線の角度を Proximal、指示物体と参照物体の重心どうしを結ぶ直線の角度を CenterOfMass として、Proximal、CenterOfMass を用いて適合度スコア $Score_{PC}$ は式 (2) で計算される。ただし、slope、yIntercept、gain、 α はパラメータで、 $\text{sig}(x, \text{gain})$ はシグモイド関数を示す。また、角度は基準軸からの絶対値を取る。

$$f(\text{angle}) = [(\text{slope} \cdot \text{angle}) + \text{yIntercept}] \cdot \text{sig}(90 - \text{angle}, \text{gain})$$

$$Score_{PC} = \alpha f(\text{Proximal}) + (1 - \alpha) f(\text{CenterOfMass}) \quad (2)$$

図 8 は PC モデルの直感的な意味を表している。点線が基準軸、正方形が参照物体、円が指示物体の時、Proximal は赤で表した角度、CenterOfMass は青で表した角度になる。

AVS モデルは参照物体上から複数のベクトルを抽出し、足し合わせ、その角度から適合度を計算する手法である。参照物体の着目点 (指示物体に最も近い点) を中心とし、そこから等距離にある参照物体の辺上から Attentional Vector という指示物体の重心に向くベクトルをいくつか取る。Attentional Vector は着目点からの距離に応じて大きさを減衰させる。

Attentional Vector を足し合わせたベクトルの角度を AVS として、適合度スコア $Score_{AVS}$ は式 (3) で計算される。ただし、slope、yIntercept、gain はパラメータで、y は指示物体の参照物体から見た高さ、 $\text{sig}(x, \text{gain})$ はシグモイド関数である。また、hightop は参照物体の頂面のうち最も高い点の高さで、lowtop は最も低い点の高さを意味する。

$$g(\text{angle}) = (\text{slope} \times \text{angle}) + \text{yIntercept}$$

$$\text{hight}(y) = \frac{\text{sig}(y - \text{hightop}, \text{gain}) + \text{sig}(y - \text{lowtop}, 1)}{2}$$

$$Score_{AVS} = g(\text{AVS}) \times \text{hight}(y) \quad (3)$$

AVS モデルを説明する図を図 9 に示す。図 9 において着目点は参照物体の右上の頂点になり、着目点から等距離にある参照物体の辺上から矢印で示した Attentional Vector が出ている。

フィッティングの結果、PC モデルは決定係数 $R^2 = 0.911$ 、AVS モデルは $R^2 = 0.899$ となり、十分なフィッティングができた。

ところで AVS モデルでは Attentional Vector の取り方に注意する必要がある。ベクトルの数やサンプルする間隔などは指定されておらず、自分で決定しなければならない。いくつか試してみた所、サンプルする間隔を狭くすると、ベクトルの数によらずうまくフィッティングできなかった。一方サンプルする間隔を広くするとベクトルの数を 7 から 2 まで変化させても決定係数はほぼ変わらず、 $R^2 = 0.899$ となった。これは、指示物体の重心と参照物体の指示物体に最も近い点が成す直線の角度がスコアの計算において支配的で、その他に影響の強いベクトルを計算に加えると、モデルがうまく機能なくなってしまうからだと考えられる。サンプルする間隔が狭いと、その分参照物体の注目点に近い地点から取るベクトルが増えてしまう。これを確かめるため、AVS モデルでフィッティングした結果得られたベクトルの角度 AVS (サンプルしたベクトルは 7) を、PC モデルの角度 CenterOfMass と比べた。結果、決定係数は $R^2 = 1.000$ となり、非常に高い相関が見られた。このことから、この場合は参照物体と指示物体がなす角度といった直接的な関係がスコアに支配的な影響を及ぼすことがわかった。

また、PC モデルと AVS モデルの差異を調べた。前述したように PC モデルのうち、角度 CenterOfMass と AVS モデルによって得られたベクトルの角度 (角度 AVS) は高い相関を持っている。さらに、2 つのモデルのスコアも高い相関を持っていた ($R^2 = 0.990$)。しかし、参照物体と特に近い場所で差異が見られ (図 3 の A2 及び B1)、ここでは PC モデルの方が良いフィッティングを示していた。

AVS モデルには参照物体に近い地点で角度に敏感ではなく、参照物体から遠い地点で角度の影響を受けやすい特徴がある。Regier and Carlson (2001) の研究ではその特徴が良いフィッティングを示したが、この実験では逆の効果を示した。

AVS のこの特徴により、図 3 の 1 及び 5 の地点において AVS モデルによるスコアは PC モデルによるスコアより高くなっているが、実際はそれより低い。これは、この 2 地点が「右」と「上」の軸に近く、それらの軸の影響を強く受けたことによる結果だと考えられる。垂直方向の表現では他の軸からの影響が無いため、このような差が生じたことになる。

6. 結論

本稿ではまだ調べら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もわかった。

今後の発展課題としてはまず、斜め方向の投射型空間語に既存手法よりも適合する適合度計算法の考案で、今回明らかになったアスペクト比の影響や他の表現の基準軸からの影響を考慮することでより良い計算法が得られる可能性がある。また、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も挙げられる。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事により、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. 1994. Basic meanings of spatial relations: Computation and evaluation in 3D space. In *Proceedings of the 11th National Conference on Artificial Intelligence (AAAI 1994)*, pages 1393–1398.
- 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*, pages 1041 – 1048.

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 Presupposition 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.

Terry Regier and Laura A. Carlson. 2001. Grounding spatial language in perception. *Journal of Experimental Psychology: General*, 130(2):273–298.

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.

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.

付録：空間テンプレート

	1	2	3	4	5
E	2.93	5.04	5.70	6.26	6.56
D	3.33	5.07	6.26	6.56	6.15
C	3.63	5.59	6.52	5.93	5.59
B	4.07	6.59	5.52	5.00	4.85
A	—	3.74	3.07	2.96	2.56

図 10 空間テンプレート (R: 大, T: 小, A: 1:1)

	1	2	3	4	5	6	7
E	3.37	5.15	5.52	6.15	6.30	6.26	6.30
D	3.48	5.48	6.11	6.33	6.41	6.26	5.78
C	3.59	5.63	6.37	6.04	5.70	5.56	5.33
B	4.67	6.37	5.85	5.37	5.07	4.74	4.00
A	—	4.70	3.85	3.11	3.44	2.93	2.56

図 15 空間テンプレート (R: 小, T: 小, A: 5:7)

	1	2	3	4	5
E	3.00	4.63	5.63	6.37	6.59
D	2.93	5.33	6.44	6.44	6.19
C	3.78	6.04	6.63	6.26	5.93
B	4.41	6.52	6.04	5.04	4.70
A	—	4.63	3.37	3.15	2.96

図 11 空間テンプレート (R: 小, T: 大, A: 1:1)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
E	3.19	4.44	5.63	6.00	6.30	6.11	6.26	6.00	6.04
D	3.33	5.30	6.11	6.33	6.19	6.15	5.67	5.78	5.67
C	3.41	5.63	6.41	6.37	5.93	5.26	5.19	5.22	5.00
B	3.93	6.44	5.89	5.41	4.89	4.70	4.33	4.19	3.89
A	—	3.85	3.63	3.11	3.11	2.81	2.44	2.30	2.30

図 16 空間テンプレート (R: 大, T: 小, A: 5:9)

	1	2	3	4	5
E	2.93	4.67	5.89	6.15	6.63
D	3.30	5.15	6.37	6.44	6.11
C	3.89	6.04	6.44	5.96	5.56
B	4.37	6.48	5.78	5.15	4.70
A	—	4.41	3.59	3.19	3.44

図 12 空間テンプレート (R: 小, T: 小, A: 1:1)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
E	3.22	4.74	5.44	5.93	6.37	6.22	6.15	5.93	6.04
D	3.00	5.30	6.04	6.59	6.63	6.00	5.85	5.81	5.52
C	3.85	5.89	6.41	6.15	5.78	5.26	5.41	5.11	4.89
B	4.41	6.67	5.96	5.15	4.93	4.59	4.44	4.11	3.96
A	—	4.11	3.41	3.22	2.78	3.04	2.93	2.48	2.19

図 17 空間テンプレート (R: 小, T: 大, A: 5:9)

	1	2	3	4	5	6	7
E	3.04	4.52	5.33	6.11	6.19	6.19	6.41
D	3.11	5.19	5.93	6.41	6.26	6.00	5.52
C	3.15	5.74	6.37	5.96	5.74	5.41	5.11
B	4.59	6.56	5.56	5.33	4.81	4.81	4.22
A	—	3.41	3.15	3.04	3.00	2.74	2.41

図 13 空間テンプレート (R: 大, T: 小, A: 5:7)

	1	2	3	4	5	6	7
E	3.00	4.70	5.59	6.07	6.26	6.41	6.19
D	3.26	4.89	6.19	6.41	6.41	6.04	5.70
C	3.63	5.59	6.41	6.33	6.04	5.37	5.30
B	3.85	6.67	5.93	5.11	4.78	4.48	4.22
A	—	3.74	3.19	3.26	3.11	2.74	2.48

図 14 空間テンプレート (R: 小, T: 大, A: 5:7)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
E	2.81	5.11	5.33	6.15	6.48	6.22	6.11	6.11	6.00
D	3.70	5.48	6.04	6.22	6.15	6.07	6.15	6.00	5.67
C	3.96	5.81	6.44	6.41	5.89	5.26	5.56	5.11	4.81
B	4.85	6.63	5.74	5.26	4.85	4.59	4.44	4.04	4.04
A	—	4.52	3.67	3.44	3.22	3.22	3.11	2.56	2.48

図 18 空間テンプレート (R: 小, T: 小, A: 5:9)