

「パーソナルスペースに基づくインタラクションに関する研究とその応用」博士論文修正箇所について

中嶋研究室 尼岡 利崇

2011 年 2 月 16 日

博士論文発表会で、ご指導賜りました 7 点の修正箇所に関しまして、ご説明させていただきます。

1. 引用している心理学の基礎実験データを DPS モデルに用いる事が出来るのか検討されていない。(第 3 章)
2. 表 3.1, 表 3.2, 表 3.3 のデータを DPS モデルでどのように用いているのかが明確でない。(第 3 章)
3. 近接モデルと遠接モデルについての説明が不足している。(第 3 章)
4. DPS モデルを 2 つの 2 次元ガウス関数を組み合わせて提案した理由が述べられていない。(第 3,4 章)
5. 快適関数の勾配によってインタラクション力を決めるのであれば、勾配が急なエージェントの背後に常に引きつけられるのではないか？(第 4 章)
6. 顔の向き活力の式 (4.6) が違うのではないか？(第 4 章)
7. 第 7, 8 章の 4 作品と DPS モデルとの関連性が明確ではない。(第 7,8 章)

1 引用している心理学の基礎実験データを DPS モデルに用いる事が出来るのか検討されていない。

DPS モデルへの個人変数, 相互関係変数の実装におけるパーソナルスペースの大きさは、池上ら (2007), 青野 (2003), 渋谷 (1985) を用いました。これらの研究では、投影法によりそれぞれの場面におけるパーソナルスペースの大きさを測定しています。投影法とは、パーソナルスペースを測定する手法の一つであり、紙面やコンピュータを用い、それらの上に描かれた人間を模した像に被験者が自己を投影し、パーソナルスペースを測定する手法です。このような手法により、測定されたデータを DPS モデルへ使用する事は、以下の 2 点から妥当性があると判断しました。

1. バーチャルエージェントのパーソナルスペースとして使用する事の妥当性

上述したように、投影法では被験者が紙面やコンピュータ内の像に自己を投影し、パーソナルスペースを測定するという手法です。投影法で得られたパーソナルスペースのデータをバーチャルエージェントのパーソナルスペースとして用いたのは、Friedman ら (2007) を参考にしました。Friedman ら (2007) によれば、ユーザーは仮想空間において自身のアバ

タを操作する際、そのアバタにもパーソナルスペースと同様の空間を保有し、それに基づいて行動するとしています。すなわち、自己を別の像に投影した際のパーソナルスペースという点において、投影法の実験環境と類似していると言えます。したがって、投影法で測定したデータをバーチャルエージェントのパーソナルスペースとして使用することが可能であると考えます。

2. DPS モデルを用いたシミュレーションで使用する事の妥当性

DPS モデルの目的の一つは、アバタやバーチャルエージェントのシミュレーションにおいて、これらが人間らしい動作とコミュニケーションに適した距離をとることです。本研究のシミュレーション実験では、仮想空間を第三者的視点から俯瞰した表示でシミュレーションを行います。また、投影法の実験方法も、紙面上、コンピュータ内の人間を俯瞰したかのような画像を使用し、実験を行います。従って、DPS モデルを用いたシミュレーション方法と投影法における被験者実験の環境は類似していると考えられます。従って、投影法により取得したデータを DPS モデルに使用し、シミュレーション実験可能であると考えます。

これら 2 つの理由から、投影法で測定された池上ら (2007)、青野 (2003)、渋谷 (1985) のデータを DPS モデルに用いる事が可能であると判断しました。この点を p27 の 8 行～p28 の 6 行に加筆致しました。

p27 の 8 行～p28 の 6 行 加筆箇所

DPS モデルへの個人変数、相互関係変数の実装におけるパーソナルスペースの大きさは、池上ら [1]、青野 [2]、渋谷 [3] を用いる。これらは、投影法によりそれぞれの場面におけるパーソナルスペースの大きさを測定している。投影法とは、パーソナルスペースを測定する手法の一つであり、紙面やコンピュータを用い、それらの上に描かれた人間を模した像を通し、被験者の快適距離を測定する手法である。このような手法により、測定されたデータの DPS モデルへの使用は、以下の 2 点から妥当性があると考ええる。

1. バーチャルエージェントのパーソナルスペースとして使用する事の妥当性

上述したように、投影法では被験者が紙面やコンピュータ内の像に自己を投影し、パーソナルスペースを測定するという手法である。投影法で得られたパーソナルスペースのデータをバーチャルエージェントのパーソナルスペースとして、Friedman ら [42] に基づき用いることとする。Friedman ら [42] によれば、ユーザーは仮想空間において自身のアバタを操作する際、そのアバタにもパーソナルスペースと同様の空間を保有し、それに基づいて行動する。すなわち、自己を別の像に投影した際のパーソナルスペースという点において、投影法の実験環境と類似していると言える。したがって、投影法で測定したデータをバーチャルエージェントのパーソナルスペースとして使用することが可能であると考ええる。

2. DPS モデルを用いたシミュレーションで使用する事の妥当性

DPS モデルの目的の一つは、アバタやバーチャルエージェントのシミュレーションにおいて、これらが人間らしい動作とコミュニケーションに適した距離をとる事にある。本研究のシミュレーション実験では、仮想空間を第三者的視点から俯瞰した表示でシミュレーションを行う。また、投影法の実験方法も、紙面上、コンピュータ内の人間を俯瞰し

たかのような画像を使用し、パーソナルスペースの測定を行う。従って、DPS モデルを用いたシミュレーション方法と投影法における被験者実験の環境は類似していると言える。従って、投影法により取得したデータを DPS モデルに使用し、シミュレーション実験可能であると考ええる。

上記 2 つの理由から、池上ら [1]、青野 [2]、渋谷 [3] のデータを DPS モデルに用いる。

2 表 3.1, 表 3.2, 表 3.3 のデータを DPS モデルでどのように用いているのかが明確でない。

論文中の表 3.1, 表 3.2 と表 3.3 は、それぞれ (1) 性別と年齢, (2) 性別と仕事上の関係, (3) 性別と社会的関係における, Person (A) の Person (B) に対するパーソナルスペースの大きさを示しています。表 3.1, 表 3.2, 表 3.3 中の σ_y^+ と σ_y^- は、それぞれ前方と後方のパーソナルスペースの大きさを意味し、提案する DPS モデル内でこれらを用いています。なお、左右のパーソナルスペースの大きさを表す σ_x は、渋谷 [1990] より $\sigma_x = \sigma_y^-$ として考える事とします。本研究の DPS モデルにおいて、まず、性別と年齢を個人変数として与える場合は、表 3.1 に示したパーソナルスペースの大きさを変数 σ_x , σ_y^+ , そして σ_y^- として使用します。また、表 3.2 のデータは、性別と仕事上の関係性を個人変数と相互関係変数として与える場合における変数として使用します。そして、表 3.3 のデータは、性別と知り合いか否かという社会的関係性を個人変数と相互関係変数として与える場合、DPS モデルの変数 σ_x , σ_y^+ , そして σ_y^- として使用します。

表 3.1, 表 3.2, 表 3.3 は、それぞれ独立しており、シミュレーションの状況や条件により、各表より数値を取得し、DPS モデルに使用しています。

この点について、p28 の 7 行～p30 の 8 行を加筆修正し、各表の見方、表のデータを DPS モデルの式にどのように適用するか等を明記致しました。なお、表 1(論文中では、表 3.2) の Person A と Person B の記述が間違っていましたので訂正致しました。

表 1 性別、仕事の関係に関連した 2 者間のパーソナルスペース (cm) 青野 (2003).
(論文中では、表 3.2)

	地位	Person (B)- 女性			Person (B)- 男性		
		上司	同僚	部下	上司	同僚	部下
		σ_y^+	σ_y^+	σ_y^+	σ_y^+	σ_y^+	σ_y^+
Person (A) 女性	管理職	67.98	54.45	85.31	81.68	75.74	108.41
	従業員	69.14	49.83	70.95	87.62	79.37	103.62
Person (A) 男性	管理職	79.37	78.38	91.58	66.00	59.73	84.48
	従業員	79.20	77.88	87.12	66.33	58.08	84.81

まず、池上ら [1] は、各年齢層によるパーソナルスペースの大きさを性別ごとに数値で示している。それを表 3.1 に示す。次に、仕事上の関係と性別に関連した 2 者間のパーソナルスペースを青野 [2] より引用し、表 3.2 に示す。また、親密度を考慮した、社会関係と性別に関連した 2 者間のパーソナルスペースを渋谷 [3] より引用し、表 3.3 に示す。

すなわち、表 3.1、表 3.2 と表 3.3 は、それぞれ (1) 性別と年齢、(2) 性別と仕事上の関係、(3) 性別と社会的関係における、Person (A) の Person (B) に対するパーソナルスペースの大きさを示している。表 3.1、表 3.2、表 3.3 中の σ_y^+ と σ_y^- は、それぞれ前方と後方のパーソナルスペースの大きさを意味し、提案する DPS モデル内でこれらを用いることとする。なお、左右のパーソナルスペースの大きさを表す σ_x は、渋谷 [3] より $\sigma_x = \sigma_y^-$ として考える。

本研究の DPS モデルにおいて、まず、性別と年齢を個人変数として与える場合は、表 3.1 に示したパーソナルスペースの大きさを変数 σ_x 、 σ_y^+ 、そして σ_y^- として使用する。また、表 3.2 のデータは、性別と仕事上の関係性を個人変数と相互関係変数として与える場合における変数として使用する。

表 3.3 のデータは、性別と知り合いか否かという社会関係の関係性を個人変数と相互関係変数として与える場合、DPS モデルの変数 σ_x 、 σ_y^+ 、そして σ_y^- として使用する。

表 3.1、表 3.2、表 3.3 は、それぞれ独立しており、シミュレーションの状況や条件により、各表より数値を取得し、DPS モデルに使用する事とする。

3 近接モデルと遠接モデルについての説明が不足している。

パラメータ $p_j, \Sigma_1^{(i,j)-}, \Sigma_2^{(i,j)-}$ の Φ_{ij}^- は、快適距離帯の最小距離によって計算する DPS モデルとし、これを以降、近接モデルとします。またパラメータ $p_j, \Sigma_1^{(i,j)+}, \Sigma_2^{(i,j)+}$ の Φ_{ij}^+ は、快適距離帯の最大距離によって計算する DPS モデルとし、これを以降、遠接モデルとします。

それらは、式 (3.3)、式 (3.4) によって計算されます。なお、 $\Sigma_1^{(i,j)-}$ と $\Sigma_2^{(i,j)-}$ は、それぞれ A_j に対する A_i の近接モデルにおける正面と背面のパーソナルスペースであり、 $\Sigma_1^{(i,j)+}$ と $\Sigma_2^{(i,j)+}$ は、遠接モデルの正面と背面のパーソナルスペースとなります。遠接モデルの $\Sigma_1^{(i,j)+}$ と $\Sigma_2^{(i,j)+}$ は、Hall の近接学に基づき計算しました。論文中の図 3.1 より、個人距離の、近接相 (Close Phase) は 0.45～0.75m、遠方相 (Far Phase) は 0.75～1.2m、そして社会距離の近接相 (Close Phase) は 1.2～2.0m で、それぞれの相の最大値は最小値の約 1.6 倍となっています。そこで DPS モデルで扱う個人変数と相互関係変数によって表 3.1、表 3.2、表 3.3 から得られる数値を近接モデルの $\Sigma_1^{(i,j)+}$ と $\Sigma_2^{(i,j)+}$ として使用し、それらを 1.6 倍した値を遠接モデルの $\Sigma_1^{(i,j)+}$ と $\Sigma_2^{(i,j)+}$ として用いることで空間の重要度を計算しております。

以上のように近接モデルには、論文中の表 3.1、表 3.2、表 3.3 の値から計算した DPS モデルを用いており、また遠接モデルには、近接モデルで用いた数値を 1.6 倍した値を σ 値として使用し算出した DPS モデルを用いています。更に、これら 2 つのモデルを合成することで、快適距離帯を算出し、この快適距離帯によりエージェントの動作を制御致しました。

以上のような近接モデルと遠接モデルについての説明が不足していましたので、p32 の 9 行～24

行に上記の説明を加筆修正致しました。

p32 の 9 行～24 行 加筆修正箇所

このエージェントは、DPS モデルに基づき算出可能な快適距離帯の中でその行動が制御されるべきであり、その効果を取り入れるために、以下の式を定義する。

$$\Phi_{ij} = \Phi_{ij}^- - \Phi_{ij}^+ \quad (3.5)$$

パラメータ $p_j, \Sigma_1^{(i,j)-}, \Sigma_2^{(i,j)-}$ の Φ_{ij}^- は、快適距離帯の最小距離によって計算する DPS モデルとし、これを以降、近接モデルとする。またパラメータ $p_j, \Sigma_1^{(i,j)+}, \Sigma_2^{(i,j)+}$ の Φ_{ij}^+ は、快適距離帯の最大距離によって計算する DPS モデルとし、これを以降、遠接モデルとする。それらは、式 (3.3)、式 (3.4) によって計算される。なお、 $\Sigma_1^{(i,j)-}$ と $\Sigma_2^{(i,j)-}$ は、それぞれ A_j に対する A_i の近接モデルにおける正面と背面のパーソナルスペースであり、 $\Sigma_1^{(i,j)+}$ と $\Sigma_2^{(i,j)+}$ は、遠接モデルの正面と背面のパーソナルスペースである。遠接モデルの $\Sigma_1^{(i,j)+}$ と $\Sigma_2^{(i,j)+}$ は、Hall の近接学に基づき計算する。図 3.1 より、個人距離の、近接相 (Close Phase) は 0.45～0.75m、遠方相 (Far Phase) は 0.75～1.2m、そして社会距離の近接相 (Close Phase) は 1.2～2.0m で、それぞれの相の最大値は最小値の約 1.6 倍である。そこで DPS モデルで扱う個人変数と相互関係変数によって表 3.1、表 3.2 と表 3.3 から得られる数値を近接モデルの $\Sigma_1^{(i,j)+}$ と $\Sigma_2^{(i,j)+}$ として使用し、それらを 1.6 倍した値を遠接モデルの $\Sigma_1^{(i,j)+}$ と $\Sigma_2^{(i,j)+}$ として用いることとした。

4 DPS モデルを 2 つの 2 次元ガウス関数を組み合わせて提案した理由が述べられていない。

2 つの 2 次元ガウス関数を組み合わせ、DPS モデルを提案した理由は、以下の 2 点となります。

1. 多くの心理学、社会学の研究で明らかになっている、パーソナルスペースの形状に近い形状を DPS モデルで再現するため、2 つの 2 次元ガウス関数を組み合わせたモデルを提案しています。

パーソナルスペースの形状について、Sommer(1969) は、人間を取り囲むような気泡のような空間と表現し、また、Hall(1990) は、体を取り巻いている泡のような距離帯と定義しています。更に、Little(1965) はパーソナルスペースは変動する一連の同心球と述べています。このように、パーソナルスペースは球形や卵型の形状をしていると多くの研究結果が示しています。

そこでまず、p23 の 14～18 行で、上記の関連研究のパーソナルスペース形状について加筆致しました。

p23 の 14~18 行 加筆箇所

そしてその形状については, Sommer[46] は, 人間を取り囲むような気泡のような空間と表現し, また, Hall[44] は, 体を取り巻いている泡のような距離帯と表現している. 更に, Little[45] はパーソナルスペースは変動する一連の同心球と述べている. このように, パーソナルスペースは球形や卵型の形状をしていると多くの研究結果が示している.

更に, 本論文で提案する DPS モデルでは, 図 1(論文中では, 図 3.2) の (a) と (b) に示す, 2つのガウス関数の組み合わせモデルを構築しています. これにより, 前述の従来研究の結果である, 円形に近いパーソナルスペースの形状に倣い, また新たに顔の向きも考慮するモデルの提案を行っています.

この点に関しまして, 図 1(論文中では, 図 3.2) を追加し, 更に p31 の 5~10 行で従来研究の結果を踏まえ, ガウス関数を用いることで, パーソナルスペースの形状を再現することを明記致しました.

p31 の 5~10 行 加筆箇所

従って, 人の正面のパーソナルスペースは, 他の横, 背面に比べより広いスペースがとられると考えられている [50]. 本研究ではパーソナルスペースをモデル化するに際し, この考えを取り入れた. 本論文で提案する DPS モデルでは, 図 3.2 (a) と (b) に示す, 2つのガウス関数の組み合わせモデルを構築する. これにより, 3.2.2 の従来研究の結果である, 円形に近いパーソナルスペースの形状に倣い, また新たに顔の向きも考慮するモデルの提案を行う.

2. ソーシャルフォースの概念を取り入れ, マルチエージェントシステム内の複数エージェントの動作を制御するために, 2つの2次元ガウス関数を組み合わせた DPS モデルを提案致しました.

DPS モデルを用い近接モデルと遠接モデルの2つのモデルから, エージェントが留まる位置を快適距離帯として算出する点が, 本研究の特徴となります. この快適距離帯に基づきエージェントは他のエージェントと空間を介したインタラクションを行います. そこで, 快適距離帯に基づきエージェントの動作を制御する為に, 提案するマルチエージェントシステムでは, ソーシャルフォースの概念を導入し, これを DPS モデルと組み合わせ使用しております. ソーシャルフォースは, 快適距離帯として算出する快適関数の勾配とその向きによって, エージェント間の引力と斥力の大きさと向きを算出します.

DPS モデルをガウス関数によって提案することで, エージェントを取り巻く快適距離帯を示す快適関数を曲線として算出することが可能となります. 従って, ガウス関数を組み合わせ DPS モデルを提案することにより, ソーシャルフォースの導入が可能となります. 更に, DPS モデルをガウス関数により提案することで, 図 2(論文中では, 図 4.1) に示すように, 快適度が最大のところをピークにその両側で徐々にその値が減少するガウス曲線に近い快適関数が得られます. これにより, ソーシャルフォースの大きさと向きが滑らかに調整さ

れる事となり，エージェント間の距離が快適距離帯によってより自然な動きで調整されるシミュレーションが可能となります．この点につきまして，図 2(論文では，図 4.1) を追加し，快適距離帯の算出のためにガウス関数を用いることを p39 の 15～22 行に加筆致しました．

以上のような，形状と快適距離帯の算出という 2 つの理由から，DPS モデルを 2 つの 2 次元ガウス関数を組み合わせて提案致しました．

p39 の 15～22 行 加筆箇所

DPS モデルをガウス関数によって提案することで，エージェントを取り巻く快適距離帯を示す快適関数を曲線として算出することが可能となる．従って，ガウス関数を組み合わせ DPS モデルを提案することにより，ソーシャルフォースの導入が可能となる．また，DPS モデルをガウス関数により提案することで，図 4.1 の赤い曲線で示すように，快適度が最大のところをピークにその両側で徐々にその値が減少するガウス曲線に近い快適関数が算出される．これにより，ソーシャルフォースの大きさと向きが滑らかに調整される事となり，エージェント間の距離が快適距離帯によってより自然な動きで調整されるシミュレーションが可能となる．

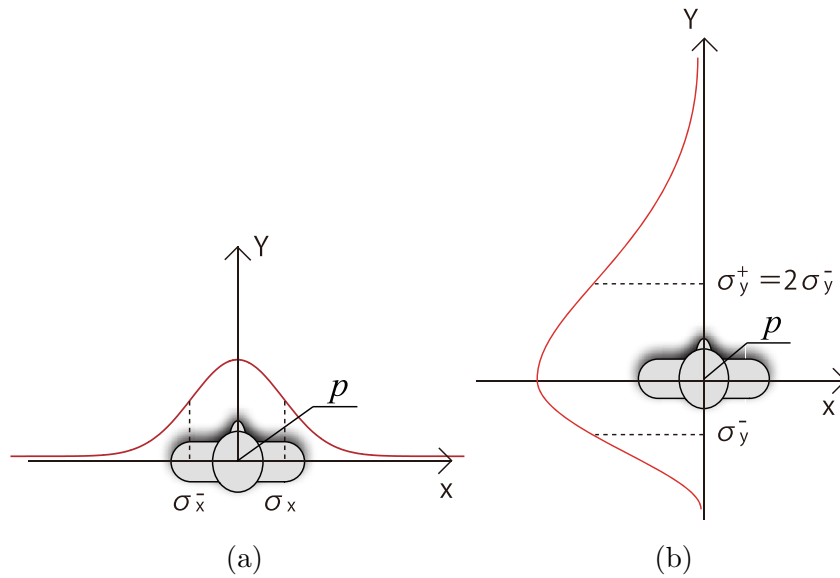


図 1 2 つのガウス関数を組み合わせた DPS モデル概念 (論文中では，図 3.2)

5 快適関数の勾配によってインタラクシオン力を決めるのであれば、勾配が急なエージェントの背後に常に引きつけられるのではないか？

エージェントの動作を決めるインタラクシオン力ですが、提案システムでは力場を計算しているのではなく、2体のエージェント間の快適関数の勾配とその向きにより、引力と斥力を計算しています。

$\Phi_{ij}(x, y, \theta)$ は、ある場所 (x, y) の A_i の A_j に対する向き θ で示される重要度となります。これは式 (3.5) で与えられます。この重要度は、ある場所が A_i にとってどの程度重要であることを示したものです。そこで快適度は $-\Phi_{ij}(x, y, \theta)$ に等しいとすることが可能となります。ここで定義したインタラクシオン力は、 A_i と A_j を直線で繋いだ間の $\nabla U_{ij}(x, y, \theta)$ のみにより決まるものとします。図 2(論文中では図 4.1) は、インタラクシオン力 \vec{F}^{int} と赤い曲線で示す快適関数 $U_{ij}(x, y, \theta)$ との関係性を表しています。(a) では、 A_j が A_i の快適距離帯以遠に位置している場合を示し、(b) では、 A_j が A_i の快適距離帯より近くに位置する場合をそれぞれ示しています。 A_i と A_j が知り合い同士という場合では、 A_j に対する A_i の社会的距離は小さいと考えられます。もし A_j が A_i の快適距離帯以遠に位置しているとする、 A_i の A_j に対する快適関数の勾配 $\nabla U_{ij}(x, y, \theta)$ とその向きにより、図 2(論文中では図 4.1) の (a) に示すように、 A_j に向かった方向に引力がかかり、その結果 A_i は、 A_j に引きつけられます。更に、 A_i が A_j に対し接近し続け、快適距離帯を超えて近付こうとした場合、快適関数の勾配 $\nabla U_{ij}(x, y, \theta)$ とその向きにより、図 2(論文中では図 4.1) の (b) に示すように、 A_i には A_j から押し戻される斥力が働く事になります。また、図 2(論文中では図 4.1) の矢印の大きさは、 A_i にかかる力の大きさを示しています。つまり、(a) の A_j の位置の快適関数の勾配は小さいため、引力が小さく、(b) の A_j の位置の快適関数の勾配は大きい、より大きな斥力が掛かることを示しています。勾配の向きの変化は、 A_i と A_j の社会的距離の差、または、 A_j の位置によって決まります。2体のエージェントが知らない者同士である場合には、2者間の社会的距離は広くとられます。

快適関数の勾配の向きにより、インタラクシオン力は引力と斥力で変化します。そのため、 A_j が A_i の近接相よりも近くに位置する場合、斥力が自動的に働き A_i を押し下げる役割を果たします。

従いまして、ご指摘いただきました勾配が急なエージェントの背後に常に引きつけられるという状況は発生しないと考えられます。上記の説明が論文中で不足していましたので、4.3 の p38 の 16 行～p39 の 14 行に加筆し、更に図 2(論文中では、図 4.1) を追加し、インタラクシオン力と快適関数の関係性が明確になるように致しました。

p38 の 16 行～p39 の 14 行 加筆修正箇所

この場合、インタラクシオン力 \vec{F}^{int} によってシミュレーションすることが可能となり、現在のエージェントを引きつけたり、また想定する仮想空間内に存在する他のエージェントを押し戻したりする。数学的にこの力は、エージェント A_j に対する快適度を算出するポテンシャル関数 $U_i(x, y, \theta)$ の勾配によって次式のように与えられる。

$$\vec{F}^{int}(i, j) = \nabla U_{ij}(x, y, \theta) = -\nabla \Phi_{ij}(x, y, \theta) \quad (4.2)$$

$\Phi_{ij}(x, y, \theta)$ は、ある場所 (x, y) の A_i の A_j に対する向き θ で示される重要度である。これは式 (3.5) で与えられる。この重要度は、ある場所が A_i にとってどの程度重要であることを示す。そこで快適度は $-\Phi_{ij}(x, y, \theta)$ に等しいとすることが可能である。ここで定義したインタラクション力は、 A_i と A_j を直線で繋いだ間の $\nabla U_{ij}(x, y, \theta)$ のみにより決まるとする。図 4.1 は、インタラクション力 \vec{F}^{int} と赤い曲線で示す快適度 $U_{ij}(x, y, \theta)$ との関係性を表している。(a) では、 A_j が A_i の快適距離帯以遠に位置している場合を示し、(b) では、 A_j が A_i の快適距離帯より近くに位置する場合をそれぞれ示している。 A_i と A_j が知り合い同士という場合では、 A_j に対する A_i の社会的距離は小さい。もし A_j が A_i の快適距離帯以遠に位置しているとすると、 A_i の A_j に対する快適関数の勾配 $\nabla U_{ij}(x, y, \theta)$ とその向きにより、図 4.1 (a) に示すように、 A_j に向かった方向に引力がかかり、その結果 A_i は、 A_j に引きつけられる。更に、 A_i が A_j に対し接近し続け、快適領域を超えて近付こうとした場合、快適関数の勾配 $\nabla U_{ij}(x, y, \theta)$ とその向きにより、図 4.1 (b) に示すように、 A_i には A_j から押し戻される斥力が働く。また、図 4.1 の矢印の大きさは、 A_i にかかる力の大きさを示している。つまり、(a) の快適関数の勾配は小さいため、引力が小さく、(b) の快適関数の勾配は大きいため、より大きな斥力が掛かることを示している。勾配の向きの変化は、 A_i と A_j の社会的距離の差、または、 A_j の位置によって決まる。2 体のエージェントが知らない者同士である場合には、2 者間の社会的距離は広くとられる。快適関数の勾配の向きにより、引力は、斥力へと変えられる。そのため、 A_j が A_i の近接相よりも近くに位置する場合、斥力が自動的に働き A_i を押し下げる役割を果たす。

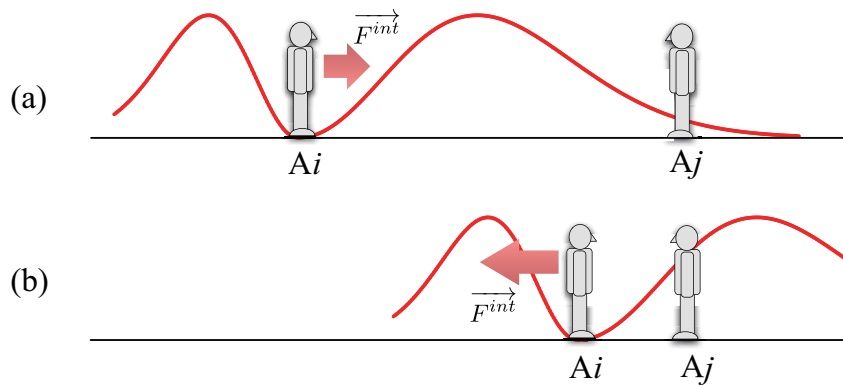


図 2 インタラクション力と快適関数の関係（論文中では、図 4.1）

6 顔の向き活力の式 (4.6) が違うのではないか？

ご指摘いただきました，式 (4.6) ですが，論文中の図 4.2 における θ_{ji} の表記に間違いがございました．図 3(論文中では，図 4.2) のように修正致しました．

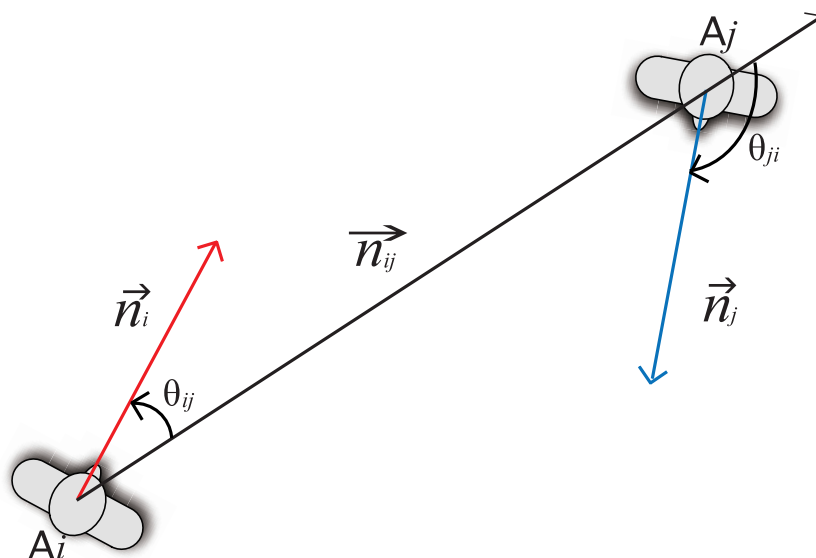


図 3 顔の向き活力（論文中では，図 4.2）

7 第 7, 8 章の 4 作品と DPS モデルとの関連性が明確ではない．

DPS モデルと 7, 8 章の関連が明記されていないという点に関しまして，p104 の 11 行～14 行で，3DCG の形状を決定するに際し，パーソナルスペースを想起させる形状を選択したことを明記致しました．更に，第 8 章では第 7 章で制作した作品の評価実験で得られた，ユーザーをコンテンツとして取り込む事で高いインタラクティブ性が得られるという結果に基づき，2 作品を制作した点が明確になるよう「8.1 はじめに」を修正致しました．

p104 の 11 行～14 行 加筆箇所

更に，本作品ではパーソナルスペースから見た多視点表現を目指す為，図 3.1 で示したパーソナルスペースの形状を想起させる形状が本作品に於ける視覚表現に適している．以上の点から円筒状 3 次元表現を用いることとした．

8.1 はじめに

第7章では、+1D, NeoCubism の作品を制作し、その作品に関する評価実験を行った。その結果、得られた効果的な視覚表現と、ユーザーをコンテンツとして取り込むことによるインタラクションの有効性が明らかになった。

本章では、第7章での結果を踏まえ、第3章で提案した DPS モデルを介したインタラクション体験が可能なインタラクティブアートを制作する。本章では、その作品である、パーソナルスペースを可視化する Collective Body と、DPS モデルから得られる複数ユーザー間の快適度を可視化する RELATIONS について述べる。

Collective Body は、ユーザーが作品内に入ると特殊視覚効果によってユーザーの動きを可視化すると共に、DPS モデルによりパーソナルスペースそのものを可視化し、日常知覚出来ないパーソナルスペースを自身の身体とインタラクティブ性によって体験する作品である。

また、RELATIONS は、複数人の関係性を可視化するもので、個々の DPS モデルにより算出される相互関係性そのものを色とアニメーションによって表現する作品である。作品内に複数人ユーザーが入ると、システムは DPS モデルにより自動的に各ユーザーのパーソナルスペースを算出し、そこからユーザー間の快適度を測定し、それをアニメーションと色によって表現する。

更に、これら4作品とパーソナルスペースの関係性が明確になるよう、第7章に、「7.3.3 パーソナルスペース概念を介したインタラクション及び視覚表現の新規性」、第8章に「パーソナルスペースの可視化を用いたインタラクション及び視覚表現の新規性」、「8.3.2 RELATIONS の新規性」を新たに設け、パーソナルスペースの概念と DPS モデルをインタラクションに取り入れる事の新規性について以下の通り述べました。

まず、NeoCubism では、パーソナルスペースの概念を 3DCG に取り入れることで、インタラクション及び視覚表現に関しまして以下の新規性が挙げられます。

1. パーソナルスペース概念に着目し、パーソナルスペースの形状に倣った円筒状の 3DCG を生成し、その 3DCG を介してインタラクションを生成することで、パーソナルスペースが身体を拡張した空間であるという点を体験することが可能となります。
2. 3DCG によって、自身をパーソナルスペースに投影するかのような視覚表現することで、自由視点によってこれを鑑賞可能となり、存在しない視点からパーソナルスペースを俯瞰する視点が生まれます。
3. 直接パーソナルスペースを可視化するのではなく、それを取り囲む他者からの視点によってこれを可視化し、更に実時間映像から 3DCG を生成することで、自身の他者からの多視点を介しインタラクションすることが可能となります。

この点を、p95 に新たに「7.3.2 パーソナルスペース概念を介したインタラクション及び視覚表現の新規性」を設け、加筆しました。

7.3.2 パーソナルスペース概念を介したインタラクション及び視覚表現の新規性

パーソナルスペースの概念を取り入れた NeoCubism では、以下のインタラクション及び視覚表現に於ける新規性が得られる。

1. パーソナルスペース概念に着目し、パーソナルスペースの形状に倣った円筒状の 3DCG を生成し、その 3DCG を介してインタラクションを生成することで、パーソナルスペースが身体を拡張した空間であるという点を体験することが可能となる。
2. 3DCG によって、自身をパーソナルスペースに投影するかのような視覚表現することで、自由視点によってこれを鑑賞可能となり、存在しない視点からパーソナルスペースを俯瞰する視点が生まれる。
3. 直接パーソナルスペースを可視化するのではなく、それを取り囲む他者からの視点によってこれを可視化し、更に実時間映像から 3DCG を生成することで、自身の他者からの多視点を介しインタラクションすることが可能となる。

次に、Collective Body で提案するパーソナルスペースの可視化を用いたインタラクション及び視覚表現に於いて、以下の 3 点の新規性が挙げられます。

1. ユーザーのパーソナルスペースをほぼ実時間で可視化し、それを芸術的視覚表現とインタラクションに取り入れています。
2. DPS モデルと特殊視覚効果を組み合わせる事により、非言語コミュニケーションである、身体動作とパーソナルスペースの両方を同時に可視化することが可能となり、ユーザーがその視覚表現を介してインタラクションを行う事が可能となります。
3. パーソナルスペースが身体を拡張した空間であることを視覚だけでなく、ユーザー自身の身体動作によっても体験可能です。

この点を p 120 に新たに「パーソナルスペースの可視化を用いたインタラクション及び視覚表現の新規性」を設け、加筆致しました。更に、第 8 章の Collective Body では、DPS モデルを用いパーソナルスペースの可視化を行ったので、その点が明確に分かるよう、p126 の 16 行～18 行を加筆致しました。

パーソナルスペースの可視化を用いたインタラクション及び視覚表現の新規性

本作品で提案するパーソナルスペースの可視化を用いたインタラクション及び視覚表現に於ける新規性を次の 3 点にまとめる。

1. ユーザーのパーソナルスペースをほぼ実時間で可視化し、それを芸術的視覚表現とインタラクションに取り入れている。
2. DPS モデルと特殊視覚効果を組み合わせる事により、非言語コミュニケーションである、身体動作とパーソナルスペースの両方を同時に可視化することが可能となり、ユーザーがその視覚表現を介してインタラクションを行う事が出来る。
3. パーソナルスペースが身体を拡張した空間であることを視覚だけでなく、ユーザー自身の身体動作によっても体験出来る。

p126 の 16 行～18 行 加筆箇所

更に式 (3.3), 式 (3.4) で算出される DPS モデルの σ 値に到達したパーティクルの Lifetime に 0 を設定し消滅させることで, パーソナルスペースの広がり of 可視化を行う。

また, RELATIONS の新規性は, DPS モデルによって算出可能な快適度という人間の心理的側面をインタラクションに取り入れた点にあります。これまでの多くのインタラクティブシステムは, 空間内のユーザーの位置関係を可視化したものがほとんどです。

それに対して, RELATIONS では, 本研究で提案した DPS モデルと HCI フレームワーク技術を用いる事で, 空間内の複数ユーザーの位置のみならず顔の向きも考慮しパーソナルスペースを測定することが出来ます。また, DPS モデルにより複数ユーザー間の社会的関係性からユーザーそれぞれの快適度が算出可能となります。すなわち, パーソナルスペースをほぼ実時間で測定し, 更にその情報から算出した快適度を可視化する事で, 本作品のユーザーは, 自己と他者の社会的関係性を客観的に捉えることが可能になると共に, 作品から提示される 2DCG を通し, 空間を介したインタラクションを図ることが可能となります。このように, 快適度という心理的側面を反映した, 空間を介したインタラクションを提供する事が本作品の新規性です。

この点を p134～p135 に新たに「8.3.2 RELATIONS の新規性」を設け, 加筆致しました。また, RELATIONS に関しましては, 図 4(論文中では, 図 8.9) を追加し, 更に, DPS モデルと色の可視化の関連性についての説明を p135 の 22 行～27 行に加筆致しました。

p134 の 25 行～p135 の 10 行「8.3.2 RELATIONS の新規性」

8.3.2 RELATIONS の新規性

RELATIONS の新規性は, DPS モデルによって算出可能な快適度という人間の心理的側面をインタラクションに取り入れた点である。これまでの多くのインタラクティブシステムは, 空間内のユーザーの位置関係を可視化したものがほとんどである。

それに対して, RELATIONS では, 本研究で提案した DPS モデルと HCI フレームワーク技術を用いる事で, 空間内の複数ユーザーの位置のみならず顔の向きも考慮しパーソナルスペースを測定することが出来る。また, DPS モデルにより複数ユーザー間の社会的関係性からユーザーそれぞれの快適度を算出可能となる。すなわち, パーソナルスペースをほぼ実時間で測定し, 更にその情報から算出した快適度を可視化する事で, 本作品のユーザーは, 自己と他者の社会的関係性を客観的に捉えることが可能になると共に, 作品から提示される 2DCG を通し, 空間を介したインタラクションを図ることが出来る。このように, 快適度という心理的側面を反映した, 空間を介したインタラクションを提供する事が本作品の新規性である。

色は、第 3 章で提案した DPS モデルを 4 つの領域に分け、それらに 4 色適用した。式 (3.5) で算出した空間重要度の領域に基づき色のグラデーションを決定する。最も重要度が高い、ユーザーの位置を赤色とし、その間のグラデーションを図 8.9 に示すように与えた。つまり、赤から快適距離帯に向かい徐々に黄色に向かう。そして、快適距離の近接相で黄色になり、そこから快適距離の遠接相へと徐々に緑に変化し、それ以遠では、青色となる。これにより、ユーザーの快適か否かという状況を算出し、可視化表現可能となる。

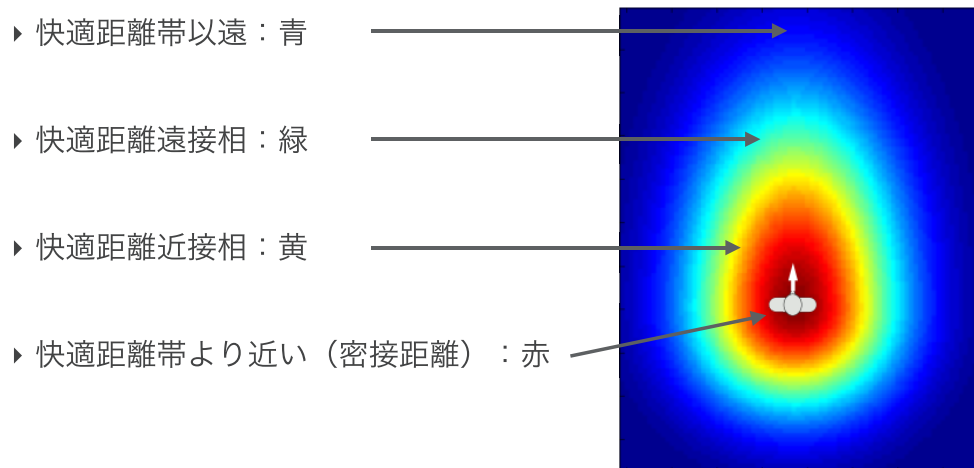


図 4 DPS モデルに基づく色による快適度表現 (論文中では、図 8.9)

以上のように、7 点の修正箇所に関しましての説明をさせていただきました。
この度は、博士論文の内容に関しまして、ご指導を賜りまして誠にありがとうございました。