

## 動画処理を用いた人の非言語的行動に 基づく対人関係構造抽出手法の提案

角谷 隆行† 山本 真吾† 金田 重郎† 芳賀 博英†

社会における集団の対人関係構造の抽出は、組織の活性化・沈滞理由分析等に有効であるとされ、その重要性が指摘されている。対人関係構造の抽出には、既に、様々な手法が提案されている。しかし、ソシオメトリックテスト等の、ヒアリングやアンケート調査を要する手法は実施に手間が掛かり、センサ装着を要する手法は、被験者へのストレス等の問題がある。そこで、本稿では人間の非言語的行動、その中でも「発話状況」、「視線」、「対人距離」、「顔面表情」に着目した対人関係抽出手法を提案する。具体的には、1)動画処理により非言語的行動の情報を取得、2)既存の各種理論・研究成果を基に作成した「対人関係推測モデル」によって対人関係の有無や強度を出力、3)集団内の対人関係を自動抽出する。提案手法のプロトタイプを実装し、提案手法の有効性を確認した。

### Interpersonal network extraction based on Non-Verbal Communication by using motion picture processing

Takayuki Sumiya† Singo Yamamoto†  
Sigeo Kaneda† Hirohide Haga†

Understanding reasons why the activity level of organizations sometimes rises and falls through the interpersonal network is useful for enhancing their activities. Now, we already have some methods to extract the interpersonal network of the group. However, these methods, which often force burden to persons in the organization, have some problems. Some of these methods require a certain kind of physical burden to persons by wearing various sensor apparatus and others force mental burden by interviewing that a problem stays ethically. In this paper, we will propose the method to extract the interpersonal network by using motion picture processing. In this method, we paid our attention to non-verbal behaviors. 1) we extract nonverbal behaviors such as “utterance”, “gaze”, “interpersonal distance” and “expression” by using motion picture processing. 2)using these behaviors based on various theories and research results and output the interpersonal relationship. 3)compile extracted interpersonal relationships and form the interpersonal network of group.

† 同志社大学大学院 工学研究科 情報工学専攻  
Graduate School of Engineering, Doshisha University

### 1. はじめに

社会において、人々や組織等の集団の関係構造、ひいては集団の特性を知る事は、集団が属する組織の活動の活性化や沈滞の理由などの把握に有用であることが知られている。例えば企業の職場であれば、管理職が部下の関係構造を知る事で、人をより有効に活用し、生産性の向上が可能となる。このように集団の関係構造の把握により、集団に新たな価値を創造出来る[1]。

実社会での集団の関係構造を調べる手法として、センサ等を装着して得られたデータを解析する手法[2]と、ソシオメトリー等の実際に集団に対し好悪感情をヒアリングする事で人間関係を表す図を作成する手法[3]等が存在している。しかし、これらの手法にはセンサの装着、倫理的に課題が残るヒアリング等、実社会にて活用するには観察対象に負担となる問題が数多く指摘されている。

そこで本稿では、動画処理を用いて人間の非言語的行動を取得、これらを総合的に判断する事で観察者に対し精神的、肉体的に負担を強くない集団の対人関係構造抽出する手法を提案する。具体的には 1) 人間の「発話状況」から会話における話し手と聞き手の関係を持つ小集団を集団内に構築し、2) 小集団内の人間の「視線」、「対人距離」、「顔面表情」の非言語的行動から対人関係の強度を判断することで、最終的に、3) 集団内の対人関係構造を抽出する。なお、対人関係の強度の判断は著者らが各種理論、研究結果を基に作成した「視線」と「対人距離」を関係の有無の基準とし、顔面表情によって対人関係の強度を判断する「対人関係推測モデル」より、自動的に抽出する。

提案手法はカメラを設置するだけで利用でき、対象者に対して精神的・肉体的負担をかけない。4 台のステレオカメラを用いたプロトタイプシステムを構築して、制約なく行動する人間に対して実験を行った。そして、提案手法により抽出された対人関係構造と、既存手法より抽出された対人関係構造の比較を行い、提案手法が既存手法と同等に集団の特性を表し、有効であることを確認した。

### 2. 背景

#### 2.1 Web 上の関係構造抽出研究

これまで集団の関係構造を抽出する研究は社会学、社会心理学分野において数多く行われている。特に、近年では Web 上で関係構造を抽出する取り組みが盛んである。Facebook や Google を中心に蓄積、更新される関係構造[4]を外部に公開するサービスが展開され、利用されている。さらにこれらの集団の関係構造を利用した研究[5]は数多く行われている。このように Web 上の集団の関係構造を抽出、利用する取り組みは実用、研究、両面で注目を集めている。

## 2.2 実社会での関係構造抽出研究の現状と課題

一方、実社会での関係構造を抽出する取り組みは活発ではない。従来の手法は実施するに当たり、問題が存在するためである。

社会学、社会心理学では、従来、参与観察やインタビュー調査を用いて集団の対人関係構造抽出が試みられてきた。特に古くから行われ、集団の人間関係の構造を解き明かす代表的手法の一つにソシオメトリー[3]がある。ソシオメトリーは Jacob L. Moreno により提唱された小集団内の人間関係を定量的に測定し、分析するための社会的測定法の一つである。

ソシオメトリーでは集団を構成する個々のメンバーに対し、ソシオメトリックテストと呼ばれる集団成員間の受容と拒否の選択から関係構造を測定するためのテストを行い、集団の関係構造を抽出する。具体的にソシオメトリックテストでは、関係の強弱を数値で記入させたソシオマトリクス(表1)を用いる。ソシオマトリクスは、1) 集団成員に対して選択あるいは排斥の感情を抱く成員を全て指名させ、2) 調査した全成員を行と列に並べ、3) 関係の強弱を数値で記入させて作成される。更にソシオマトリクスの関係の強弱から、集団の相互関係を把握するために集団の成員を点、関係を線とし可視化した、ソシオグラム(図1)の作成も可能となる。

表1 ソシオマトリクス  
Table 1 Sociomatrix

	A	B	C	D
A	0	1	1	0
B	1	0	0	0
C	1	0	0	1
D	1	0	1	0

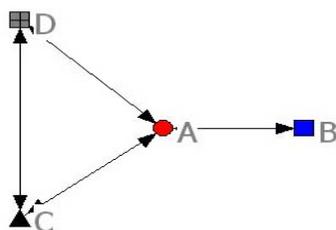


図1 ソシオグラム  
Figure 1 Sociogram

ソシオメトリーは集団の関係性の正確な把握が容易であり、様々な分野で使用され

てきた[6]。しかし、ソシオメトリーを教育現場で実施するにあたり大きな問題があった。ソシオメトリーでは調査対象者に対して「一緒に遊びたい人は誰ですか?」や「一緒に遊びたくない人はだれですか?」等、プライバシーに関する好悪感情を問う質問を行わなければならない。調査対象者にとって精神的な負担が大きい。また、近年これらの配慮に欠けた質問を行うソシオメトリーが社会的に取り上げられ、大きな問題となった。この事から教育現場ではソシオメトリーについて及び腰になってしまい、関係構造を抽出する取り組みが停滞している。また、ソシオメトリーでは、プライバシーに関する好悪感情を対象者に問うため、その回答にはバイアスがかかる恐れがあり、この影響も危惧される。

ソシオメトリーのように質問を行う事で、集団の関係構造を明らかにする手法は他にも存在する[7][8]。しかしこれらの手法も、実際に対象者に対してインタビュー調査や質問紙法等を行うことが必要となっている。この事からも対象者に対し精神的に負担を強いことは避けられない。

上に述べた課題を解決するために、様々なセンサ機器を用いることで集団の対人関係構造を解き明かす試みが行われた[9]。センサ機器としては赤外線センサ、加速度センサ、RFID、歩数計など多様なセンサ機器を対象者に装着することにより、関係構造を抽出する研究・手法が開発された[2]。これらの手法を用いる事で、対象者に強いてきた精神的負担を和らげた。しかし、これらのセンサ機器を用いた手法にも、依然幾つかの問題を抱えている。対象者に対しセンサ装着を必要とするため、対象者に肉体的な負担を強いてしまう、という問題がある。

近年では、上記の問題を解決するために、対象者にセンサ機器を対象者に装着せず、画像センサやマイクセンサのみで関係構造を抽出する研究・手法が開発されている[10][11]。これらは利用シーンを会議中、広告宣伝とうまく絞ることでより少ない情報で、あるいはより要素を取得しやすい条件を整えることで、センサ機器を対象者に装着せずに関係構造を抽出している。しかし、これらの研究では、特定の場所に座っている対象者など、限定的な範囲の関係構造しか抽出できない。

また著者らが以前に行った研究[12][a]は、自由に行動する対象者の関係構造抽出に成功した。その結果、集団の大まかな対人関係構造を図示できた。しかし、抽出した関係構造の確信度が低く、抽出した関係構造から中心性などの集団の特性を読み取ることが困難であった。

以上の背景から、実社会での集団の対人関係構造抽出では、精神的、肉体的な負担を対象者に強わず、対象者が制約なく自由に振る舞える手法が求められる。

a 本論文は文献[12]をリファインし、再提案した論文である。

### 3. 提案手法

#### 3.1 提案手法の概要

本章では、2章で述べた問題を解決し、対象者に対して精神的、肉体的に負担を強えず、自由に行動する対象者の対人関係構造を自動抽出するため、「動画像処理を用いた人の非言語的行動をベースとする、対人関係構造抽出手法」を提案する。

まず本稿では「対人関係」を以下の様に定義する。星野は著書[13]において、個々人のフォーマル、インフォーマルな関係がある中で、インフォーマルな関係を対人関係と定義しているが、著者らはフォーマルな関係の中でも、人間が面と向かって話す等の、何らかの直接的な行為を行う関係も含めて、対人関係と定義する。また、本手法において、これらの対人関係の有無、強度を判断するために、人間のコミュニケーション行動の中でも、会話中の非言語的行動に着目する。提案手法の概要を図2、構造図を図3に示す。

会話は最も多くの意味あるメッセージを伝える場面と言われる[13]。会話においては、常に話し手と聞き手という関係が1対 $n$ で発生する。そこで本手法では、人の「発話状況」を用いて、対人関係を持つ「話し手と聞き手による1対 $n$ の小集団」を生成する。以後、この小集団を関係グループと呼ぶ。その後、関係グループ内の対人関係

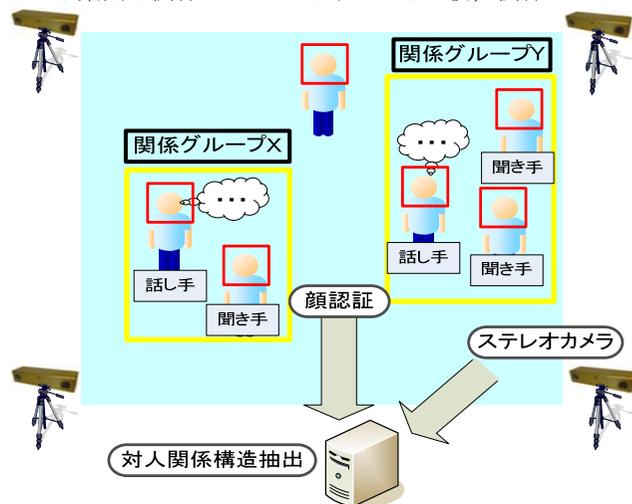


図2 提案手法の概要  
Figure 2 The outline of proposal method

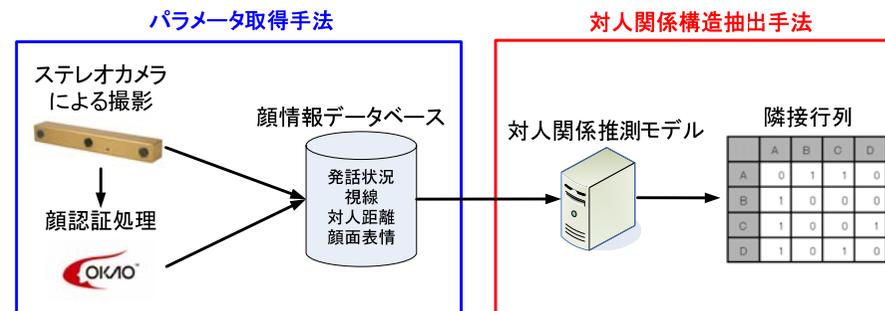


図3 提案手法の構造図

Figure 3 The structure of proposal method

の強度を判断するために、「視線」、「対人距離」、「顔面表情」を用いて、対人関係を総合的に判断する。これらの非言語的行動は、数ある人間の対人コミュニケーションチャンネルの中でも、機械的に抽出可能であり、社会学、社会心理学分野で重要なコミュニケーション要素として知られている [14]。そして、最終的に、生成された各関係グループの対人関係を統合して、集団全体の対人関係を推測する。

上記を実現するため、2つの手法(図3)により対人関係を推測する。4つの非言語的行動を取得する「パラメータ取得手法」と、得られた非言語的行動から集団の対人関係を推測する「対人関係構造抽出手法」である。

#### 3.2 パラメータ取得手法

「発話状況」、「視線」、「対人距離」、「顔面表情」の4つの非言語的行動を取得するため、提案手法では距離測定が可能であるステレオカメラと顔認証技術を用いる。図2に示すように、制約なく自由に行動する集団から漏れなく非言語的行動を抽出するため、集団を囲むように配置された複数台のステレオカメラで撮影を行い、対象者間の距離である「対人距離」を取得する。更に取得された画像ごとに顔認証技術を適用し個人認証を行い、「顔面表情」、「視線」等の非言語的行動を抽出する。また対象者の口の動きから画像処理を用いて「発話状況」を抽出する。

#### 3.3 対人関係構造抽出手法

上記の処理により得られた「発話状況」、「視線」、「対人距離」、「顔面表情」を総合的に判断するため、「対人関係推測モデル」を構築した。本モデルは、1)「発話状況」、「視線」により話し手と聞き手の関係グループを生成する処理、2)「視線」、「対人距離」により分岐する木構造を用いて、関係グループ内の二者間の関係強度を推測する処理、3)「顔面表情」の「笑顔」の程度を数値化した値により重み付けを行う処理、の3つの処理手順で構成される。これにより、各対象者間の関係強度 $a$ を求めていく。

関係強度  $a$  は対象者間が持つ対人関係の強さである。つまり、対象者間が抱く親密さ、好意と言った単語に近似可能なものである。以下に3つの処理手順について述べる。

(1) 関係グループ生成分岐モデル

本処理では「発話状況」と「視線」から話し手と聞き手の関係にある1対  $n$  の関係グループを生成する。関係グループの生成は図4のように、発話状況から検出された話し手の存在する場合に生成され、視線により関係グループにいる聞き手を検出する。対象者  $i$  が発話し、対象者  $j$  が視野角内にいる、つまり  $j$  に話しかけているならば、 $i$  は関係グループ  $G_i$  が生成する話し手と認識される。この時、 $j$  の視線内に  $i$  が存在すれば  $j$  は聞き手として処理される。 $i$  には発話というコミュニケーション行動があることから関係強度の評価値  $e_i$  を与え、 $n-1$  人の聞き手  $j$  には  $i$  との関係の存在が見られることから関係強度の評価値  $e_j$  を与える。

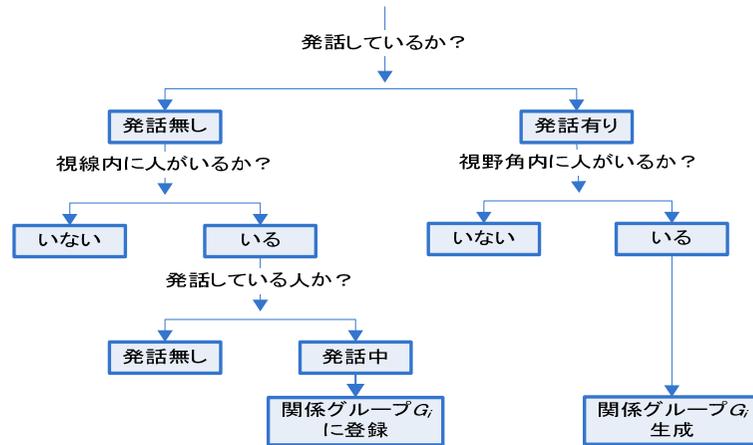


図4 関係グループ生成分岐モデル

Figure 4 Tree model to generate the relation group

(2) 「視線」と「対人距離」による二者間の関係強度

本処理では関係グループ内の対象者の関係強度を二者間の「視線」、「対人距離」から推測する。「視線」要素について、まず対象者間の視線の交錯について調べる。 $i$  が  $j$  に向ける視線に対して、 $j$  も  $i$  に視線を向けている相互視か、それとも  $i$  が  $j$  に視線を向けているだけの一方視かを判断する。

次に、これらの視線時間により関係強度の評価値を決める。視線時間、視線交錯が長いほど親密である[15][16][17]。このことから、相互視で視線交錯時間が長いほど高い評価値を与え、一方視で視線時間が短いほど評価値は低くなる。

「対人距離」要素について、好意は一般に密接な対人距離をとらせる[18][19]ことから、対人距離が短いほど親密であると解釈する。つまり、対人距離が長いほど関係構造の評価値は低く、対人距離が短いほど評価値は高くなる。

以上の点を踏まえて、「視線」と「対人距離」による関係強度  $e_{ij}$  を算出する。

(3) 顔面表情による重みづけと隣接行列モデル

「顔面表情」はコミュニケーションに表情に応じた付加価値を与える[20][21]。「顔面表情」の一つ「笑顔」の場合、より親密である状態を表すため、関係強度の評価値  $e_i$ ,  $e_j$ ,  $e_{ij}$  に正の重みづけを行う。まず、対象者の笑顔の程度を  $d$  ( $0 \leq d \leq d_{max}$ ) に数値化する。また式(1)に示すように関係グループ  $G_i$  内の  $i, j$  二者間の関係の強さの重み  $w_{ij}$  は  $i, j$  両者の笑顔の程度  $d_i, d_j$  の和を基に導出される。

$$w_{ij} = \frac{d_{max} + \frac{1}{2}(d_i + d_j)}{d_{max}} \quad (1 \leq w_{ij} \leq 2) \quad (1)$$

この重み  $w_{ij}$  を用いて評価値  $e_i$ ,  $e_j$ ,  $e_{ij}$  の重み付けを行い、 $i, j$  の二者間の対人関係強度  $a_{ij}$  を求める。 $a_{ij}$  は  $i$  が、 $j$  について持つ対人関係の強さを表す。この処理を評価期間中に起こった関係グループ  $G_i$  内の二者間の視線に対して繰り返し行い、 $i, j$  の対人関係強度に  $a_{ij}$  を反映させる(式(2))。この結果  $i, j$  の対人関係強度は確かなものとなっていく。以上の関係グループ  $G_i$  内の二者間の対人関係の推測を行う処理を、各関係グループを構成する  $N$  人の対象者全て、つまり、 ${}_N P_2$  通りの対象者の順列に対して行う事により、最終的に集団全体の対人関係構造を行列の形で表した式(3)に示す隣接行列  $A$  を導き出す。

$$a_{ij} = \{(e_i + e_j) \times e_{ij} \times w_{ij}\} + a_{ij} \quad (2)$$

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & \cdots & a_{1(n-1)} & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & \cdots & a_{2(n-1)} & a_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \ddots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \ddots & \ddots & \vdots & \vdots \\ a_{(n-1)1} & a_{(n-1)2} & \cdots & \cdots & a_{(n-1)(n-1)} & a_{(n-1)n} \\ a_{n1} & a_{n2} & \cdots & \cdots & a_{n(n-1)} & a_{nn} \end{bmatrix} \quad (3)$$

この隣接行列を可視化することにより、集団の対人関係構造を俯瞰的に把握する一つの指標となる(図1)。また、隣接行列に各種処理を加えることにより、関係構造の特性を表す指標の抽出も可能となる。

## 4. 実装

### 4.1 実装システム概要

提案手法の有効性を評価するために、第3章で述べた提案手法に基づくプロトタイプシステムを実装した。本システムは3m×3mの空間を想定して構築され、空間の四隅上部2mの位置に4台のステレオカメラを配置し、集団の撮影を行い、空間内の集団の対人関係構造の抽出を行う。本システムはパラメータ取得(処理)、および、関係構造抽出(処理)からなる。以下、それぞれの処理を詳説です。ただし、本稿では顔向きを広義に視線と解釈し用いた。「顔の向き」は「視線」と同義とする。

### 4.2 パラメータ取得処理

本手法では対人関係を推測するパラメータとして、「発話状況」、「視線」、「対人距離」、「顔面表情」の4つの非言語的行動を用いる。これらパラメータ抽出のため、PointGrey Research社製の3眼ステレオカメラBumblebeeXB3[22]を4台用い、顔認証技術には顔センシング技術OKAO Vision[23]を用いた。ステレオカメラを用いて集団を囲むように撮影した画像データに顔認証技術を適用し、画像毎に、顔検出、個人認証、発話推定、視線情報の測定、対人距離の算出、笑顔度抽出を実施した。画像内で検出された「顔」、「視線」にステレオカメラの視差情報を用い、三次元座標上での対象の位置、視線を取得する。以下、特に重要な発話推定、視線情報の測定、対人距離の算出、笑顔度抽出について述べる。

#### (1) 発話の推定手法

本システムでは口が連続的に動作をしている場合に発話されたと判断する。そこで本システムでは距離変化に対してロバストな手法として、口の端点から形成される長方形の角度の変化から発話情報を検出する手法を取る。OKAO Visionより得られた顔特徴点、特に口の特徴点から口の角度を取得する(図5)。

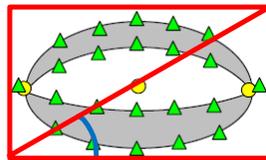


図5 顔特徴点から取得される口の角度

Figure 5 Mouth angle based on the face feature point

取得した  $n$  個の角度  $x_n$  を離散フーリエ変換し  $X_n$  を得る。発話している場合、 $X_n$  は低い周波数において、高スペクトルが検出される。閾値  $k$  とした時、 $|X_j| > k$  ( $j=0,1, \dots, n-1, n$ ) ならば発話していると判定し、発話を推定する。

#### (2) 視線情報の測定手法

視線情報を取得するためのパラメータ取得処理では、OKAO Vision とステレオカメラを用いている。OKAO Vision はフレーム内の一辺20pixel以上のサイズの顔が検出可能であり、その顔の「顔特徴点」等を検出可能である。本稿では検出可能な項目の内、「顔の向き」を利用する。「顔の向き」とは、対象の顔が水平状態と比較して、どの程度の傾斜があるかを算出する向きである(図6)。上下方向、左右方向、回転方向の3軸においての角度を算出する。OKAO Vision では、顔の大きさが一辺40pixel以上、顔の向きが正面に対し左右60度程度以内、上下30度程度以内についての精度を保証している。OKAO Visionより取得した「顔の向き」をステレオカメラから算出した三次元座標上にマッピングし、視線ベクトルを検出する。

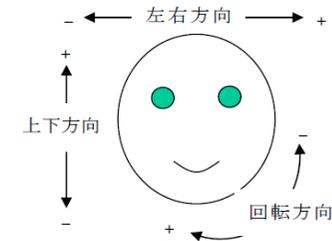


図6 顔の向き

Figure 6 Face Direction

#### (3) 対人距離の算出

対人距離はOKAO Visionの顔検出情報とステレオカメラの視差情報を用いて算出する。まず、対象者  $i$  と対象者  $j$  の画像内の顔の位置がOKAO Visionによって取得する。ステレオカメラの視差情報を用いて、取得された顔の位置を三次元座標上にマッピングする。そして、得られた  $i, j$  の三次元座標から  $i, j$  間の対人距離を算出する。

#### (4) 笑顔度の抽出

笑顔度とは、認証した顔がどの程度笑っているかを、OKAO Visionを用いて0-100の間で数値化した値である。本稿では笑顔度  $d$  の分類を人間が変化を感じられる3段階の表情として分類する。笑顔度  $d$  の分類は  $d=0$  笑い無し、 $d=50$  微笑、 $d=100$  笑いとして定義し、取得した  $N$  個の全て笑顔度について式(4)を適用する。

$$\left\{ \begin{array}{ll} d_n = 0 & (0 \leq d_n < 20) \\ d_n = 50 & (20 \leq d_n < 60) \\ d_n = 100 & (60 \leq d_n \leq 100) \end{array} \right\} \quad (n = 0, 1, \dots, N-1, N) \quad (4)$$

### 4.3 関係構造抽出処理

パラメータ取得処理部で得られた集団の各対象者の「発話状況」, 「視線」, 「対人距離」, 「顔面表情」のパラメータを基に, 関係構造を導出し, 得られた関係構造の特性指標の抽出を行う. このため, 本処理では 3.3 節で提案した手法を実装した. 以下に対人関係推測のための 3 つのステップについて示す.

#### (1) 関係グループの生成

本処理では「発話状況」と「視線」から関係グループを生成する. 生成は 3.3 節で述べたモデルを用いて行う.  $i$  が発話している時,  $i$  の視線  $x_i$  について  $-23 \text{ 度} \leq x_i \leq 23 \text{ 度}$  内[a]に他の対象者  $j$  がいるか探索し,  $i$  が関係グループ  $G_i$  を生成する話し手かを判断する. 発話していない  $j$  は視線内の  $i$  が関係グループを生成しているならば, 聞き手として関係グループ  $G_i$  に追加する. 以上のように対象者を全てクラスタリングする. 最終的に関係グループ  $G_i$  の話し手  $i$  には関係強度の評価値  $e_i$  を与え,  $n-1$  人の聞き手  $j$  には関係強度の評価値  $e_j$  を与える[b].

#### (2) 「視線」と「対人距離」による分岐モデル

本処理では図 7 に示すように, まず「視線」に注目し, 視線の交錯, つまり  $i$  と  $j$  が相互視であるか, 一方視であるかについて調べる. 次に, これらの視線時間により分岐を行う. 相互視の場合は視線交錯時間が 1.5 秒を基準としており, これ以下の場合には視線交錯ではないと判断され, 二者の関係強度に反映されない. また, 一方視については 4 秒を基準とし, それ以下の場合には, 視線を向けていると判断されない. 相互視, 一方視の各基準値を超え, 視線が向けられていると判断されると, 次に  $i, j$  二者間の対人距離により, 関係の強さを推測していく. 最終的に, この対人距離に応じて, 「視線」, 「対人距離」チャンネルの 2 つを用いて推測した対人関係の強さに応じた評価値  $e_{ij}$  が 1~6 の数値として導出される[c].

#### (3) 笑顔による重みづけと隣接行列の取得

(1), (2) で得られた関係強度の評価値  $e_i, e_j, e_{ij}$  に重みづけを行う. 重みづけは 3.3 節で述べた手法を用いて行う. 本システムでは笑顔の程度, 強さを OKAO Vision から得られる笑顔度を用いる. 笑顔度は 0~100 の数値で表される. そして, 重みとして二者の笑顔度の和を用い, 以下の式 (5) の通り重みが導出される.

$$w_{ij} = \frac{200 + (d_i + d_j)}{200} \quad (1 \leq w_{ij} \leq 2) \quad (5)$$

a 普段人間が集中した際の視野角が 46 度である点から  $-23 \text{ 度} \leq x_i \leq 23 \text{ 度}$  と定めた.

b 発話という対人関係に大きな影響を及ぼすコミュニケーション行動があるため, 話し手の評価値  $e_i$  の方が聞き手の評価値  $e_j$  よりも高く設定されている.

c 図 4, 7 のモデルを適用するにあたり, 聞き手であり一方視で二者間の距離が大きいほど評価値  $e$  が低く, 話し手であり相互視で二者間の距離が小さいほど評価値  $e$  が高くなるように 1~10 までの評価値を与える.

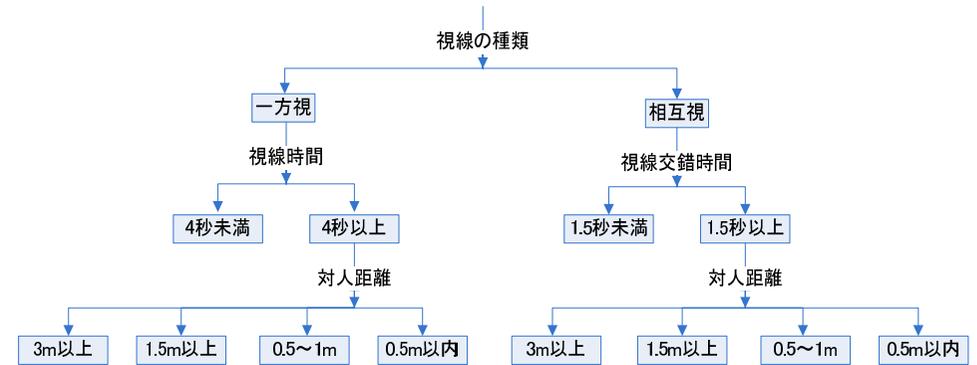


図 7 視線と対人距離による分岐モデル

Figure 7 Tree model of gaze and interpersonal distance

最後に, 先程得られた評価値  $e_i, e_j, e_{ij}$  の重みづけを行う事により, 二者間の関係強度  $a_{ij}$  を求める. また, この処理は時系列で得られた全ての非言語的行動に対し行うため, 既存の関係強度  $a_{ij}$  がある場合は, 既存の関係強度  $a_{ij}$  に新たに関係構造抽出処理により導出された関係強度  $a$  との和を新たな関係強度  $a_{ij}$  として反映していく. そしてこの処理を各対象者に繰り返し集団の対人関係構造を表した隣接行列  $A$  を導き出す.

得られた隣接行列は, Analytic Technologies 社のネットワーク分析ソフト UCINET6.0 により解析を行い, グラフ描画は, 同じく Analytic Technologies 社の Net Draw2.0 により行う. これらのソフトを用いて, 集団の特性指標の抽出を行う.

## 5. 評価実験

### 5.1 実験内容

本評価実験では, 本手法の有効性を評価するために, 同被験者に対し本システムを用いて抽出された関係構造と, 既存手法を用いて抽出される関係構造との構造類似度を用いて比較を行い, 本システムの有効性の評価を行なう. また本手法を用いて行われる関係構造抽出が, どのような側面を持った関係を抽出し, どの分野に有効であるか確認を行う.

本評価実験では既存比較手法として「ソシオプロフィール法[7]」, 「間隔尺度ソシオメトリックテスト[8]」を用いた. ソシオプロフィール法は, 被験者全員に, 他の被験者との二者関係が現在どの程度, 親密かを「親密な関係である」, 「やや親密な関係で

ある」、「どちらともいえない」、「やや親密な関係でない」、「親密な関係でない」の5件質問紙法にて評定を行う。ソシオプロフィール法では単に主観的に見た他者との現在の親密さの程度を問う手法であり、この手法から抽出される関係構造はプライベートの関係と解釈できる。

間隔尺度ソシオメトリックテストは、被験者全員に、他の被験者全員について調査したい内容に関する質問を行い、5段階の選択の程度を選択することで、関係構造の抽出を行う手法である。今回の実験では間隔尺度ソシオメトリックテストにて仕事上の関係の抽出を試みるため、どの程度一緒に仕事をしたいかという質問に「一緒に仕事をしたい」、「やや一緒に仕事をしたい」、「どちらともいえない」、「やや一緒に仕事をしたくない」、「一緒に仕事をしたくない」の5段階の回答を提示し、被験者間の仕事上の好悪関係を取得した。

5.2 実験環境

本評価実験では鉄筋コンクリート建ての室内にて、3m×3mを検出範囲と設定した。実装したステレオカメラは空間の四隅上部2mの位置に4台のステレオカメラを配置し、集団の撮影を行った。照明については、一般の蛍光灯を使用し、太陽光の影響は比較的少ない。

被験者は20代の男女4人、実験時間は20分とした。実験時間の間は検出範囲から退出する以外、特別な制約条件は設けず自由に行動してもらった。

5.3 結果

実験を行った結果、表2に示す隣接行列が抽出された。提案手法で導出された隣接行列は既存比較手法との比較のため、最大値を合わせた順序尺度に変換した。しかし、ここで一つ問題が生じる。提案手法と既存比較手法では同じ順序尺度であるが、既存比較手法の場合、質問回答の評価の「5」「4」「3」はそれぞれポジティブな対人感情を表すが、それ以下の値「2」「1」はネガティブな対人感情を表している。つまり、既存比較手法では集団の全構成員に対する感情を1～5の評価で聞いているため、「何も関係がない」場合でも回答せざるを得なかった。

これに対し、提案手法では「何も関係がない」場合は評価が0であり、これを基準とし、数値が増えるにつれ対人関係の強度も増加する。しかし、既存比較手法では2以下が「何も関係がない」と表しているのと同義であり、提案手法の0と同じである。つまり既存比較手法では「関係がない」という感情さえも2～1の数値として表されるため、提案手法と既存比較手法の基準が異なっていた。そこで得られた隣接行列をグラフ化する際、基準を同じにするため、提案手法から得られた隣接行列には閾値を設けず、既存比較手法の場合ポジティブな値だけを表すため、閾値を2と設定しグラフ化した。各種手法より得られた隣接行列をグラフ化した図を図8に示す。

表2 隣接行列 (左:提案手法 中:ソシオプロフィール法 右:間隔尺度ソシオメトリックテスト)

Table 2 Sociomatrix (Left: Proposal method Center: Socioprofile method

	A	B	C	D
A	0	3	4	2
B	4	0	2	0
C	5	1	0	5
D	1	2	5	0

Right: Interval scale measurement)

	A	B	C	D
A	0	3	4	4
B	4	0	5	4
C	4	3	0	4
D	4	3	4	0

	A	B	C	D
A	0	4	4	2
B	5	0	4	2
C	5	4	0	1
D	2	5	2	0

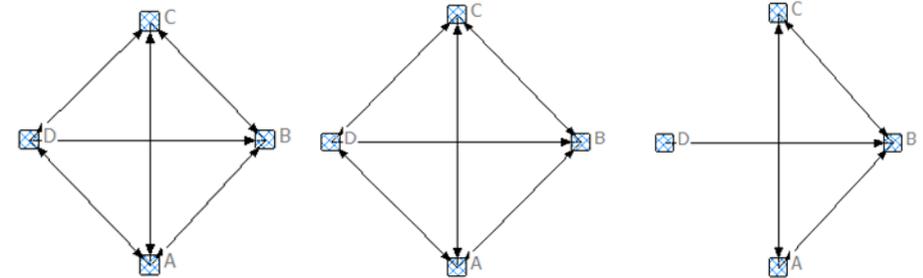


図8 関係構造グラフ (左上:従来手法 右上:提案手法 左下:ソシオプロフィール法 右下:間隔尺度ソシオメトリックテスト)  
 Figure 8 Sociogram (Upper left: Existing method Upper right: Proposal method Left below: Socioprofile method Right below: Interval scale measurement)

提案手法により抽出されたグラフと既存比較手法より抽出されたグラフの構造的類似度を確認するため、互いの編集距離を算出した。編集距離とは2つのグラフを比較、操作(ノード及び紐帯の削除、挿入、置換)を加えることで両グラフを同一にする際の最小操作数である。提案手法のグラフの編集距離を表3に示す。

表3 グラフに対する編集距離  
 Table 3 Edit distance of the sociogram

手法	提案手法
ソシオプロフィール法	1
間隔尺度ソシオメトリックテスト	5

次に提案手法の特性指標による構造類似度について表4に示す。今回は特性指標として一般的な入次数の中心性[1]の構造類似度によって比較を行う。次数による中心性では、それぞれの点の次数、つまり、グラフの中でもつ紐帯の数が多ければ多いほど中心的であると解釈するものである。今回は既存比較手法の設問内容、提案手法の特徴から入次数（点に向かってくる紐帯の数）の中心性を選択した。入次数の中心性は今回の設問内容の場合、集団において他者から最も好意を持たれている度合いを0~100で表す数値である。これにより中心性が高い人物は集団内で影響力が大きい人物であると表され、中心性が低い人物は集団への影響力が小さい人物と表される。

表4 入次数の中心性  
Table 4 The centrism of indegree

被験者	提案手法	ソシオプロフィール法	間隔尺度ソシオメトリックテスト
A	66.67	80.00	66.67
B	40.00	60.00	86.67
C	73.33	86.67	53.33
D	46.67	80.00	0

## 6. 検討

### 6.1 提案手法の有効性

本実験では被験者は4人であり、提案手法から導出されるグラフは有向グラフであるので、このグラフが持つ最大の紐帯数は12となる。表3に示した、提案手法ではプライベートの関係を抽出したソシオプロフィール法によるグラフとの編集距離が1であり、編集距離は非常に小さくプライベートの関係を強く写し取っている。グラフが持つ最大の紐帯数が12であることを考慮すると、既存比較手法から抽出されたグラフとの編集距離は十分に小さく、提案手法を用いた集団の関係構造抽出が有効に行われたと判断出来る。

続いて関係構造の特性、その中でも中心性について確認する。提案手法の中心性は最も高い対象者と最も低い対象者が、ソシオプロフィール法の中心性は最も高い対象者と最も低い対象者と一致し、両手法から抽出した関係構造は同じ特性を示している。また、提案手法が抽出した中心性は、ソシオプロフィール法の中心性同様に、最も高い対象者と最も低い対象者の差が明確に出ているため、確信度は高く、提案手法は既存比較手法の関係構造の特性を抽出できたと判断できる。

以上より、提案手法を用いて抽出された集団の関係構造は、既存比較手法より抽出された関係構造と比較した場合、類似した構造上の特性を示した。この事からも提案手法は既存比較手法と比較しても、集団の関係構造抽出が十分行われていると考えら

れる。これより、集団の関係構造抽出において、提案手法の一定の有効性が示された。

また本実験結果ではプライベートの関係がより抽出された。これは、提案手法の特徴として、1) 笑顔度を用いて対人関係強度を重みづけする点、2) 関係構造を抽出する際の被験者の自由度が高い点に関係していると考えられる。3.3節で述べたように、笑顔は親密である状態を表す。笑顔は緊張した状態には表れにくい。そのため、仕事のような緊張が生じやすい環境よりも、プライベートの関係を抽出しやすい。また、提案手法の特徴として、被験者の負担が少ない。これにより被験者の緊張が小さく、笑顔が発露しやすいためプライベートの関係が抽出できたと考えられる。

### 6.2 有効な分野

実験より、提案手法が抽出する対人関係構造はプライベートの関係の抽出に適していると判断される。以上を考慮すると、提案手法は教育現場での利用に適していると考えられる。教育分野では古くからソシオメトリーが用いられ、人間関係を育成する上での貴重な資料となり、児童の心理的側面の測定における有効性は教育現場から数多く報告されている[6]。この際、ソシオメトリーで児童のプライベートな好悪感情の質問が問題となっていたが、提案手法ならば児童への負担は小さい。提案手法を教育現場へ適用すれば、例えば、児童の不登校等の前兆を素早く察知も可能となる。提案手法を用いることにより、従来ソシオメトリーで入手した人間関係を育成する上での貴重な資料より、教育の質を向上が期待される。

## 7. おわりに

本稿では、動画像処理を用いた人の非言語的行動に基づく対人関係構造抽出手法を提案し、本手法の有効性を検証した。既存の関係構造抽出研究では対象者に肉体的、精神的負担を強い、実社会にて活用するには数多く問題が存在した。そこで著者らはステレオカメラと顔認証技術という従来研究と全く異なったアプローチを行う事により、対象者に対しストレスを与えず、対象者が自由に行動可能な環境下で自動的に集団の対人関係構造の抽出を行った。

提案手法を実装したシステムと既存比較手法を用いた評価実験では提案手法から抽出された関係構造が既存比較手法から得られた関係構造と類似した特性を示した。これにより提案手法から抽出された関係構造が十分有効であることが示された。今後はより大きな集団に対し実験を行い、本システムの有効性を高めていく事が望まれる。また、縦断的な研究を行う事により、集団の対人関係構造の変遷の様子を調査観察し、社会学、社会心理学分野にも寄与していきたい。

## 謝辞

本研究で使用された顔センシング技術 OKAO Vision の使用にあたり、ご協力を頂いたオムロン株式会社に感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) 安田雪：実践ネットワーク分析，新陽社，(2001)
- 2) 森脇紀彦 他：組織活動可視化システム「ビジネス顕微鏡」,電子情報通信学会技術研究報告。HCS,ヒューマンコミュニケーション基礎, Vol. 107, No.241, pp. 31-36 (2007)
- 3) 田中熊次郎：ソシオメトリの理論と方法，明治図書，(1965)
- 4) Brad Fitzpatrick: Thoughts on the Social Graph, <http://bradfitz.com/social-graph-problem/>, (2007)
- 5) Joonhyun Bae, Sangwook Kim: A Global Social Graph as a Hybrid Hypergraph, *IEEE, INC, IMS and IDC, 2009. NCM '09. Fifth International Joint Conference on*, pp.1025-1031, (2009)
- 6) 大坊郁夫：しぐさのコミュニケーション，サイエンス社，(1998)
- 7) 藤本学：ソシオプロフィール法，対人社会心理学研究，pp.77-85，(2004)
- 8) 宮地功，岸誠一，小孫康平：間隔尺度測定に基づくソシオメトリックテストの提案と分析システムの開発，日本教育学会情報教育研究，pp.33-44，(1994)
- 9) 糠野亜紀 他：活動量に基づく幼児の交友関係抽出，人工知能学会論文誌 23(6)，402-211.(2008)
- 10) G. Salvendy, M.J. Smith (Eds.): The Effects Visual Feedback on Social Behavior during Decision Making Meetings, *Human Interface, Part II, HCI 2011, LNCS 6772*, pp. 219-228, (2011).
- 11) 瓶子和幸 他：複数人の関係に基づく適応的広告システムの開発，マルチメディア，分散，協調とモバイルシンポジウム，(2007).
- 12) 角谷隆行 他：複数のステレオカメラと顔認証技術を用いた対人関係構造抽出手法の提案，情報処理学会ユビキタスコンピューティングシステム研究会，Vol.22, No.17, pp.1-8 (2009).
- 13) 星野命：対人関係の心理学，日本評論社，(1998)
- 14) Mehrabian, A and Ferris, S.R: Inference of attitudes from nonverbal communication in two channels, *Journal of Consulting Psychology*, Vol.31, pp. 248-252, (1967)
- 15) Argyle, M : *Bodily communication. 2nd ed* , Methen & Co.Ltd, (1988).
- 16) Kendon, A : Some functions of gaze direction in social interaction., *Acta Psychologica* 26, pp.22-63, (1967)
- 17) 大坊郁夫：発言，視線行動に及ぼす対人魅力情報の効果，日本グループダイナミクス学会第33回大会発表論文集，pp.210, (1985)
- 18) Hall, E.T : *The Hidden Dimension*, Doubleday & Company, (1966)
- 19) 西出和彦：人と人との間の距離(人間の心理・生態からの建築計画①)，建築士と実務，(1985)
- 20) 和田実：行為，対人距離および話題が言語と非言語的行動に及ぼす影響，名古屋大学教育学部修士論文，(1985)
- 21) Jakobs, E. : Social motives, emotional feelings, and smiling, *Cognition and Emotion*, vol.13, pp.321-345, (1999)

- 22) PointGrey Research Inc., "Bumblebee XB3", [http://www.ptgrey.com/products/bbxb3/bumblebeeXB3\\_stereo\\_camera.asp](http://www.ptgrey.com/products/bbxb3/bumblebeeXB3_stereo_camera.asp)
- 23) 瀧川えりな：“自動顔属性推定システム「OKAO Vision」”，画像の認識・理解シンポジウム，(2004)