

基礎論文

人間のノンバーバル情報受信精度の計測
—指さし情報受信精度の計測—

今井 朝子*1 関口 大陸*2 川上 直樹*2 館 暲*2

Measuring Accuracy of Nonverbal Information Perception of Humans:
Measurement of Pointing Gesture Perception.

Tomoko Imai*1, Dairoku Sekiguchi*2, Naoki Kawakami*2 and Susumu Tachi*2

Abstract: In this paper we present experimental results that show how people perceive other's pointing gestures. We measured human perception of natural finger pointing under a face-to-face condition to find out how people understand other's pointing gestures. The experiment revealed that people try to locate pointed position by extrapolating an orientation of an index finger of the pointer without using gaze information of the pointer even if the finger provides misleading information. Also, when a target is pointed using both eyes and a finger, people concentrate on the finger information even if people can locate the pointed position by watching eyes.

Key words: Nonverbal communication, pointing gesture, measurement, VR, shared space

1. はじめに

人は生まれてすぐにノンバーバル・コミュニケーションを始める[1]。成人してからもノンバーバル情報は重要な役割を果たしており、メッセージの65%以上はノンバーバル情報だと報告されている[2]。そのため、コンピュータ・グラフィックス、実写画像、ロボットなどを使ってノンバーバル情報を表現する研究が進められている[3][4][5][6]。現在、ノンバーバル情報を遠隔地に伝える方法として普及しているのはテレビ電話であるが、発信者と受信者がノンバーバル会話をする際に参照する、共通の参照先が存在しなくなったり、ゆがめられたりするために、その効果は電話とあまり変わらないことが指摘されている[7]。そのため、VR空間内で人と人とのコミュニケーションを支援する場合にはバーチャルな共有空間を作ることが多い。共有空間の作り方については、様々な方法が考えられているが決定的な解はまだ得られていない。

理想的な共有空間とはどのようなものであろうか。実空間に存在する人間の会話を自然に再現することが目的である場合は、対面の状態が理想の状態の1つであると考えられる。対面の状態を理想とする場合、技術を介して共有空間へ向けられるジェスチャを見る人は、対面の場合と同じ反応を示すのが理想である。そのため、人が対面でノン

バーバル情報を受信した場合に示す反応を定量的に測定しておけば、遠隔の実空間どうしを結んで作られた共有空間が理想的なものであるかどうかを評価することが可能である。本研究では、様々なノンバーバル情報の要素のうち、特に指さしに着目して実験を行った。

指さし動作の送信者に関する研究では、指さしを行う際には、利き眼を使って指の位置と向きを決定しているという報告と、対象物に近い側の眼を使って決定しているという研究結果とが報告されている[8][10]。指さし動作の受信者に関する研究としては、宮里らは眼と手の両方を使った指さし動作の知覚に関する実験を行っている[3]。この実験では対面で人物の上半身を提示して指示動作を行った場合と、モノスコピック画像で同じ人物の上半身を提示した場合の知覚の評価実験を行っている。その結果、横18cm、前後20cmの間隔でターゲットが配置されている場合には対面での正答率は71%、2次元実写像の場合は30%であると報告している。しかし、18cm以下の精度の研究と、被験者が何を主な手掛かりとして指さし動作を知覚しているかについての研究は行われていない。

本研究では(1)人が共有空間へ向けられる指さし情報をどの程度正確に(2)何を手掛かりにして知覚しているのか(3)どのような個人差があるのかを調べた。そのため、眼と手を使った指示の知覚実験、手のみを使った指示の知覚実験を行った。第1の実験の目的は、人に近いエージェントを画像やロボットを使って表現した場合に望める効果と、その自然さを評価するための指標を得ることである。第2の実験の目的は、人に近いエージェントを研究

*1: 東京大学大学院 工学系研究科

*2: 東京大学大学院 情報理工学系研究科

*1: Graduate School of Engineering, The University of Tokyo

*2: Graduate School of Information Science and Technology, The University of Tokyo

する上で、何を重視すれば良いのかを調べることである。そのため、手のみを使って指示した場合の知覚結果、第1の実験の結果、既に報告した眼のみを使って指示する実験の結果とを比較し、被験者が情報を受け取っている主な手掛かりを調べた[9]。また、個人差についても調べた。

2. 眼と手の両方で指示する実験

2.1 実験装置の概要

以下では、指さしを行う人を指示者、それを見る人を被験者と呼ぶ。指示者は日本人女性1人で、図1に示すように箱にあけた窓から机の上に置かれたターゲットを指さした。箱にあけた窓の大きさは、30.7cm×45.0cm。ターゲットは、1cm 間隔の格子状に配置した 2160 個の点で、55cm×40cm の大きさのスチレンボードに描かれていた。各々の点には1から2160までの番号を振り、指示者はその2160個の点の中から、100点をランダムに選んで指した。番号は指示者から見て左から右へ、奥から手前に1から2160の順に振った。ターゲットを乗せた机の高さは71cm、指示者の顔での照度は3200lx、ターゲット・ボード上の照度は235lxであった。視線提示者の顔には影ができないように光源を設置した。

被験者は、指示者の130cm前方に座った。実験開始前に指示者と被験者の眼の高さを114cmに合わせたが、机の上を指さす動作と、それを見る被験者の状態をなるべく自然に再現するために、指示者と被験者の頭部は固定しない条件とした。

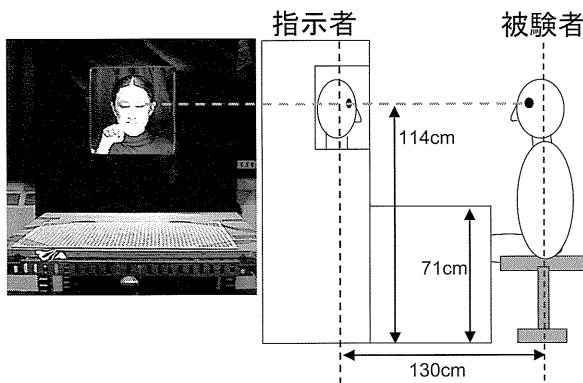


図1 眼と手を使った指さし実験の実験環境

2.2 被験者

被験者は矯正視力が正常な20代の日本人女性2名、日本人男性3名、フランス人男性1名の合計6名であり、指示者とは顔見知りであった。また、指示者がターゲットを指示する準備をしている間は、眼を閉じる条件とした。

2.3 指示者

指示者は1名で視力は両眼で0.7であった。また、指示を行う際には、両眼を開けて右手を使って行ったが、指先

の位置は利き眼である右眼を使って決められていた。使っている眼を調べる際には、ターゲットを指示した後に片眼づつ閉じ、どちらの眼を開けたときに指先がターゲットと重なっているかによって調べた。また、指先の位置を、眼とターゲットを結ぶ線上に置く指示方法は一般的であることが報告されている[10]。右眼を利き眼としている3名について指示方法を調べたところ、指先の位置は眼とターゲットを結ぶ線上にあった。ここでは、あるターゲットを指さしてもらい、自分の指先がそのターゲット上にあるかどうかを報告してもらうことによって指示の方法を確認した。本報告では同じ指示者の下での、指示知覚の指示方法依存性の傾向を調べることを目的としたため、詳細な指示そのものの計測は行わなかった。しかし、更に詳細に指さしに対する、受け手の知覚精度の研究を行うためには指示の精度も知る必要であるため、今後、計測する予定である。

2.4 実験手順

実験は、カーテンを閉めた室内で蛍光灯をつけて行った。指示者は、照明が調整された箱のなかから、あらかじめランダムに選ばれた番号に従って指示した。被験者は右手に並んで置かれている、1から100までの番号が振ってあるピンを1つずつとり、指示者が指していると感じた点にピンを刺していった。

2.5 実験結果

被験者がどのように相手の指示している先を知覚していたかを示すために、被験者が平均としてどちらの方向に間違えていたかを図2に示す。横軸Xは、指示者からの左右の距離をcmで示しており、0が指示者の中心、負が左側、正が右側である。縦軸Yは、指示者の正面方向への距離を指示者の位置を原点としてcmの単位で示している。

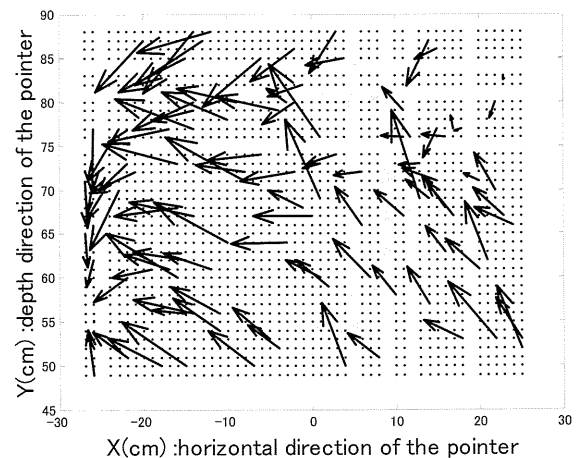


図2 眼と手を使った指示のエラー・ベクトル: $\bar{r}_{error}(j)$

ここで、被験者 $i(i = 1, \dots, 6)$ の $j(j = 1, \dots, 100)$ 番目の刺激に対する知覚結果を

$$\bar{r}_{result}(i, j) = (x_{result}(i, j), y_{result}(i, j)) \quad (1)$$

指示者が指示した点である、指示先の位置を

$$\bar{r}_{stimulation}(i, j) = (x_{stimulation}(i, j), y_{stimulation}(i, j)) \quad (2)$$

と表記し、エラー・ベクトル \bar{r}_{error} を次式で定義する。

$$\bar{r}_{error}(i, j) = \bar{r}_{result}(i, j) - \bar{r}_{stimulation}(i, j) \quad (3)$$

$\bar{r}_{result}(i, j)$: 被験者 i の j 番目の刺激に対する知覚結果

$\bar{r}_{stimulation}(i, j)$: 被験者 i への j 番目の刺激

$\bar{r}_{error}(i, j)$: 被験者 i の j 番目の刺激に対するエラー・ベクトル

図 2 は (4) で定義するエラー・ベクトルの平均値

$$\bar{r}_{error}(j) = \sum_{i=1}^6 \bar{r}_{error}(i, j) / 6 \quad (4)$$

を示した図である。ベクトルの長さは、ベクトルの始点位置を指示した際のエラー・ベクトルの絶対値の平均値を表している。図 2 から、被験者は指示した方向を左に偏って間違えて知覚していることがわかる。

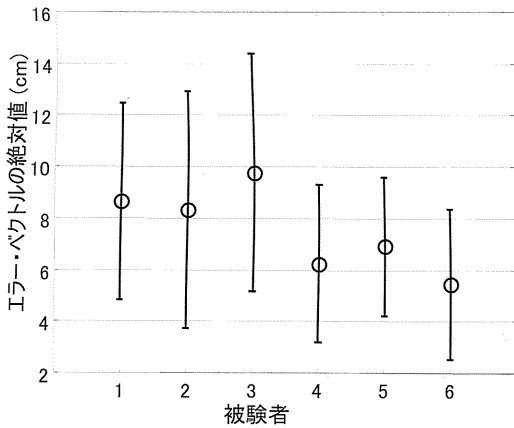


図 3 エラーの絶対値の平均値と標準偏差: $r_{averageError}$

また、被験者毎のエラーの大きさを調べるために、指示者が指示した点から被験者 i が答えた点までの距離を

$$r_{averageError}(i) = \sum_{j=1}^{100} |\bar{r}_{error}(i, j)| / 100 \quad (5)$$

のように被験者ごとに平均して図 3 にプロットしてみる

と、全被験者の平均は 7.6cm であり、最も小さいエラーは被験者 6 の 5.5cm、最も大きなエラーは被験者 3 の 9.8cm であり、約 4cm の個人差が見られることがわかる。t 検定の結果でも、被験者 3 と 6 のデータの間には有意な差が認められた ($t(167) = 7.87, P < 0.05$)。更に、知覚の難しい方向があるかどうかを調べるために、(6)に示すようにエラー・ベクトルの x と y 成分の絶対値の平均を計算し、図 4 にプロットする。

$$x_{averageError}(i) = \sum_{j=1}^{100} |x_{result}(i, j) - x_{stimulation}(i, j)| / 100 \quad (6)$$

$$y_{averageError}(i) = \sum_{j=1}^{100} |y_{result}(i, j) - y_{stimulation}(i, j)| / 100$$

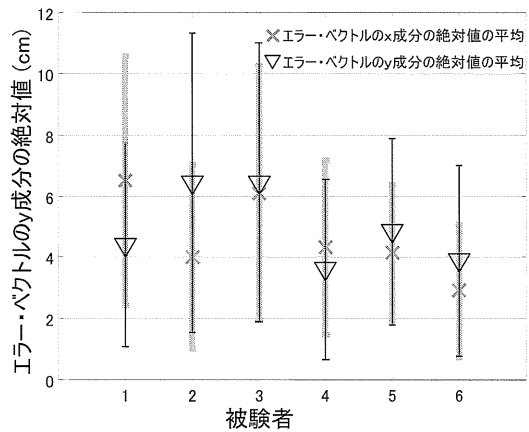


図 4 エラーの x と y 成分の絶対値の平均値: $x_{averageError}$

と $y_{averageError}$

個人個人のデータを見ると、明瞭な傾向は見られず、被験者 2,3,5,6 は指示先の x 成分を y 成分よりも正確に知覚しており、被験者 1,4 はその逆である。しかも、被験者 3, 4, 5 の x と y 成分の結果の間には、統計的な有意差はない ($t_3(99) = 0.55, P_3 > 0.05, t_4(99) = 1.74, P_4 > 0.05, t_5(99) = 1.77, P_5 > 0.05$)。また、全被験者のデータについて t 検定を行っても有意な差が見られないことから、知覚の難しさの方向依存性はほとんどないと考えられる ($t(599) = 1.27, P > 0.05$)。

更に、知覚の偏りを調べるために(7)に示すようにエラー・ベクトルの x と y 成分を、図 5 にプロットしてみると、図 2 から予想される通り、被験者全員が指示先を x の負 (指示者の左側) の向きに間違えていることが定量的に示されている。被験者ごとに、エラー・ベクトルの x 成分の平均値と 0 との差を検定すると、全ての被験者の結果に統計的に有意な差が見られた。

$$x_{error}(i) = \sum_{j=1}^{100} (x_{result}(i, j) - x_{stimulation}(i, j)) / 100$$

$$y_{error}(i) = \sum_{j=1}^{100} (y_{result}(i, j) - y_{stimulation}(i, j)) / 100 \quad (7)$$

$x_{error}(i)$: エラーのX成分

$y_{error}(i)$: エラーのY成分

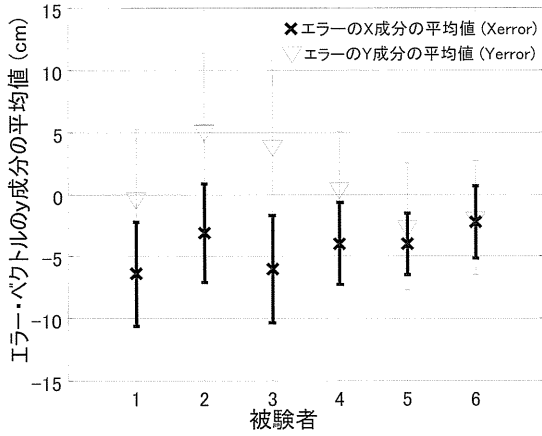


図 5 眼と手による指示の知覚のされ方の偏り

2.6 眼と手を使って指示する実験の考察

眼と手の両方を使って指示した場合、それを見る人は常に左にずれて知覚していることがわかった。このずれはなぜ生じたのであろうか。図 6 に示すように、指示者は右眼、右指先を通るベクトルをターゲットに向けている。

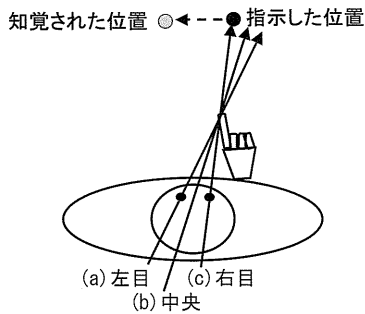


図 6 された位置の知覚方法の候補

もしも被験者が、同じように右眼から右指先を通るベクトルを引いていた場合には、図 5 のように常に左へ偏ることは考えにくい。また、図 6(a) (b) のように、左眼や左右の眼の中間から、指先へベクトルを引いていた場合には、常に右に偏って間違えるはずである。常に左に偏るということは、ベクトルの始点が右眼よりも右側になくならない。このことから、被験者は指示者の眼を手掛かりとして使っていなかったことが考えられる。また、人が話題の対象を指示すると、それを見ている人は指示している人の眼は見ずに、指示している人と同じ視点位置から指示者の手

を見ようとするのが観察されていることから[11]、被験者は手の形を主な手掛かりとしていたことが考えられる。以下では、被験者が指示先を認識する際に、主に使っている手掛かりを確認するための実験を行う。

3. 手のみを使って指示する実験

3.1 実験装置の概要

実験系は、図 7 に示すとおりで、指示者がのぞく窓の大きさが 30.7cm×12.0cm と小さい以外は、眼と手の両方で指示する実験と同じである。この窓の大きさでは、指示者はターゲット全てを見わたして指示することができるが、被験者は指示者の顔を見ることはできない。

被験者は、眼と手の両方で指示する実験に参加した被験者と同じであり、学習の効果を小さくするために眼と手の実験終了からは 1 週間以上の間を空けた。また、指示者も眼と手の実験と同一とした。

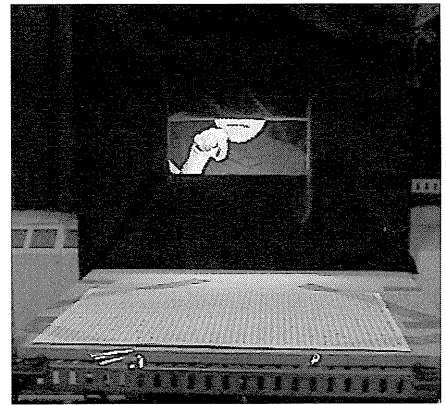


図 7 手のみを使って指示する実験の環境

3.2 実験結果

手のみで指示した場合の実験結果のエラー・ベクトルを 6 名について平均してプロットしたものを図 8 に示す。また比較のために、図 9 に眼のみで指示した場合も示した。

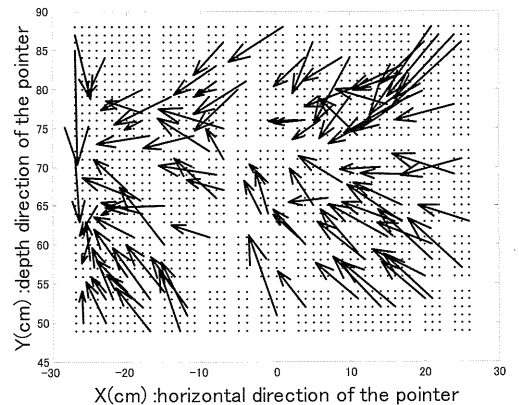


図 8 手のみで指示した場合のエラー・ベクトル

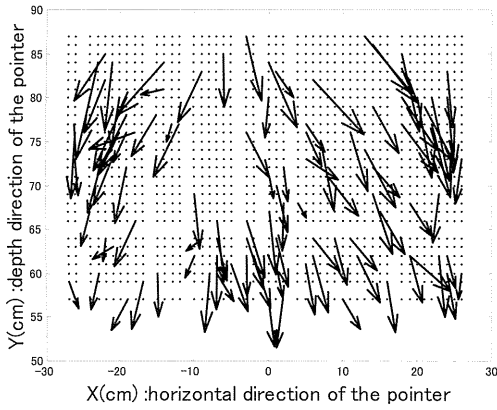


図 9 眼のみで指示した場合のエラー・ベクトル

図 9 は、著者らが同一の指示者と被験者の条件で行った実験のデータをプロットしたものである。(実験の詳細は既に論文で述べた[9]。) 眼のみで指示した場合、左右非対称な偏りは見られないが、手のみで指示した場合には、眼と手の実験結果と同じように間違いが左に偏っていることがわかる。

更に、図 10 でエラー・ベクトルの x と y 成分を比較すると、眼のみで指示した場合と、手のみと眼と手の両方を使って指示した場合の実験結果は、異なるグループに属しているように見える。全被験者のデータに対して有意水準 5% で t 検定を行ってみると、エラー・ベクトルの y 成分のデータについては、手のみで指示した場合と、眼と手で指示した場合の実験結果の平均値の間には、統計的に有意な差がないことがわかった ($t(599)=0.208, p>0.05$)。

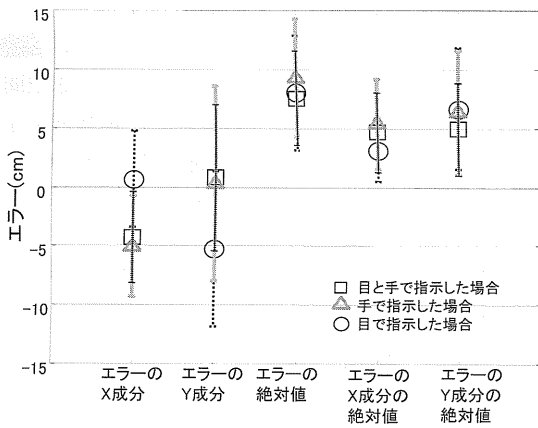


図 10 指示方法の違いによる測定結果の差

更に、このエラー・ベクトルの y 成分に見られる「手のみと、眼と手の両方を使って指示した場合の実験結果に統計的な有意差は見られない」という傾向の個人差を調べるために被験者毎のエラー・ベクトルの y 成分を図 11 にプロットしてみると、全ての被験者が眼と手の両方を使った指示を、手のみによる指示に近いと知覚していた。t 検定からも被験者 2 以外は、両者のデータの間には統計的に有

意な差がないことがわかった。このことから、被験者は主に手から指示先を判断していたと考えられる。また、眼のみで指示した場合と、眼と手の両方を使って指示した場合のエラー・ベクトルの大きさの間に有意差が見られないことから、眼に手の情報を付け加えても、指示の精度はほとんど向上しないことがわかった。

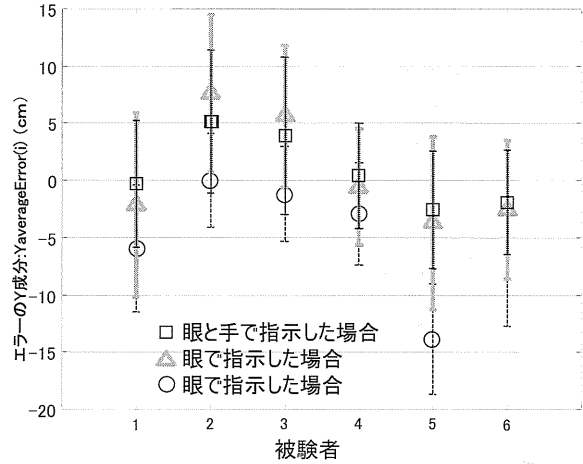


図 11 被験者毎のエラー・ベクトルの y 成分

3.3 手のみで指示した実験の考察

被験者からは「眼と手の両方を見て指示先を判断した」というコメントを得たが、実験の結果、実際にはほとんどの情報は手から得ていたことがわかった。同様の傾向が、6名中5名の被験者について見られたことから、眼に手の情報が付与されると、人が手を見てしまうという傾向は個人差を超えた強い傾向であると言える。また、手の情報を加えても指示の精度は上がらないことから、擬人化インタフェースの指示動作合成の研究を行う場合、指示の正確さを高めるためには、眼に手を付け加えても、本実験と同じ条件のもとでは大きな改善は見込まれないと考えられる。しかし、自然さを追求するために、手動作をつける場合には、人は手に注目してしまうため、手の形や動きを正確に表現する必要があるであろう。

実験の結果から、被験者が手の情報を主に使っていることがわかった。そこで被験者が手のどの部分に着目しているかを調べるために、被験者の眼の位置と、指示者の真横にカメラを設置し、指と被験者がピンを刺した位置の関係を撮影した。図 12 ではカメラは指示者の右横に設置し、図 13 では被験者の眼の位置に設置した。本撮影では、影をなくすために設置した照明は、撮影の妨げになるために取り外した。また、第 1 の実験の際には窓から外へは指が出ないように指示したが、今回は図 12 に示すように少し指を出して撮影した。画像を撮影する際には、あらかじめ指示者が指示した点と被験者が回答した点にピンを刺し、実験の状況を再現して撮影を行った。

図 12 に示すように、指示者の右眼、指先、指示者が指

した点 i) を通る線と、指示者の右眼、指先、被験者が知覚した点 ii) を通る線とを比較してみると、指示者は眼、指先、指示者が指した点 i) を通る線上に指先を置いて指示を行い、被験者は指の向きを延長したベクトルを使って知覚していたことがわかる。また図 13 より、知覚結果が指示者の左 (Y 軸方向の負) に向かって偏っていた原因が、被験者が指示者の指を見ていたためであることもわかる。

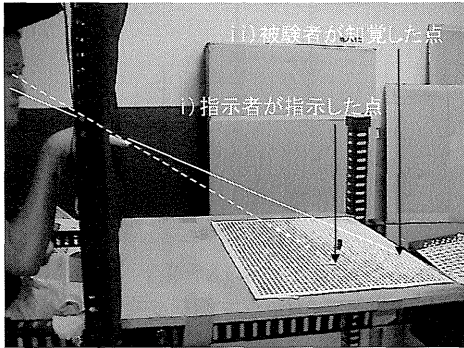


図 12 横から撮影した指示者とターゲット



図 13 正面から撮影した指示者とターゲット

以上の結果から、被験者は指示者の指を見て指示先を判断していたこと、指示者が指の位置と向きを決めるために使っている手掛かりと、被験者が指示先を知覚するために使っている手掛かりは異なることが確認された。

4. むすび

本研究では理想的な共有空間を遠隔地に構築する際の指針を得るために、人が共有空間を介して送受信する情報の1つである指さしについて実験を行った。具体的には

(1) 人が共有空間へ向けられる指さし情報をどの程度正確に (2) 何を手掛かりにして知覚しているのか (3) どのような個人差があるのかを調べた。その結果、(1) 眼と手の両方を使った共有空間への指示を、人は約 8cm 程度間違えて知覚していること、また、眼だけで指示しても眼と手の両方を使って指示をしてもわかりやすさはほとんど

変わらないこと (2) 指示者は眼、指先、指示先を通るベクトルを用いて指の位置と向きを決定するが、それを見る人は眼の情報は使っていないこと、人は手のなかでも特に指の位置と向きから指示先を判断していること、(3) 間違えの大きさには、5.5 から 9.8cm の個人差の開きが見られるが、主に手から情報を得ることは 6 名中 5 名に共通しており、強い傾向であることがわかった。

以上の結果から、遠隔地へ指示を行うシステムを設計するための次のような指針が得られた。

- 1) 対面と同じように眼と手を使って指さしをすると、その情報はある偏りを持って知覚されるため、偏りを考慮する必要がある。そのためアバタを合成する際には、人間の眼と手の関係を再現せずに、指を指示先に向けると指示の精度が上がる可能性がある。
- 2) 人は眼と手を同時に見ることができている状態に置かれても、相手の指示を理解しようとするとき主に手を見るため、手の情報は正確に提示する必要があるが、眼と手の関係は手の情報ほどには厳密に提示する必要はない。但し、人の注視先は会話の状態に応じて変わるため、本知見は対面にいる相手の指示を理解しようとする際にのみ適用可能である[11]。

謝 辞

本研究は独立行政法人科学技術振興機構の戦略的創造研究推進事業の一部として行われた。

参考文献

- [1] M. Scaife, J. S. Bruner: "The capacity for joint visual attention in the infant," *Nature*, 253, pp.265-266, 1975.
- [2] 黒川隆夫: "ノンバーバルインタフェース", p. 58, オーム社, 1994.
- [3] 宮里, 岸野: "臨場感通信会議における仮想空間を介した指さし指示動作知覚の評価", *情報通信学会論文誌 D-II*, Vol.J80-D-II, No.5, pp.1221-1230, 1997.
- [4] 林, 田中, 稲見, 館: "没入型フルカラー裸眼立体ディスプレイ (第 5 報)", 3 次元画像コンファレンス, 2002.
- [5] H. Kuzuoka, G. Ishimoda, Y. Nishimura, R. Suzuki, K. Kondo: "Can the GestureCam be a Surrogate?," *Proceedings of ECSCW'95*, pp.11-12, 1995.
- [6] 今井, 小野, 中津, 安西: 協調伝達モデル: "関係性に基づくヒューマンロボットインタフェース", *信学論 Vol. J85-A*, No. 3, pp. 370-379, 2002.
- [7] C. Heath, P. Luff: "Disembodied conduct," *CHI '91 Conf. Proc.*, pp.99-103, 1991.
- [8] A. Z. Khan, J. D. Crawford: "Coordinating one hand with two eyes: optimizing for field of view in a pointing task," *Vision Research* 43, pp.409-417, 2003.
- [9] 今井, 関口, 稲見, 川上, 館: "ユーザの言葉からエンジニアの言葉へ—利用者のニーズを定量化する

ための視線認識測定” , ヒューマンインタフェース学会研究報告集, Vol. 5, No. 2, pp.13-18, 2003.

- [10] D. Y. P. Henriques, J. D. Crawford: "Role of Eye, Head, and Shoulder Geometry in the Planning of Accurate Arm Movements," J Neurophysiol, Vol 87, pp.1677-1685, 2002.

- [11] 今井, Johnson, Leigh, Pape, DeFanti, 館: "VR メールシステム", 日本バーチャルリアリティ学会論文誌 Vol.6, No. 3, pp.239-244, 2001.

(2003年8月13日受付)

[著者紹介]

今井 朝子 (学生会員)



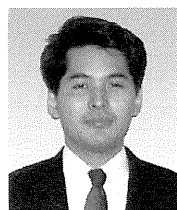
1998年イリノイ大学大学院情報工学専攻修士課程卒。Pacific Interface社(USA)を経て、現在、東京大学大学院工学系研究科先端学際工学専攻博士課程在学。ユーザの視点に立った技術の設計指針を示す研究に従事。2003年より(株)ユーデイト勤務。1999年APCC/OECC'99 Excellent Paper Award.

関口 大陸 (正会員)



2001年東京大学大学院工学系研究科博士課程修了, 博士(工学)。同年より科学技術振興事業団研究員。2002年東京大学大学院情報理工学系研究科 特任助手となり現在に至る。ネットワークロボティクスおよびテレレイグジスタンスに関する研究に従事。

川上 直樹 (正会員)



平8東工大・理工・電気電子修士課程修了。平11東大・工・先端学際工学博士課程修了。工博。同年同大学院・工・計数工助手。平14同大学院・工・計数工講師。バーチャルリアリティの研究に従事。日本バーチャルリアリティ学会会員

館 暁 (正会員)



昭43東大・工・計数卒。昭48同大学大学院博士課程了。工博。同年同大助手。昭50通産省工技院機会技研研究員, 主任研究官, 遠隔制御課長, バイオロボティクス課長, マサチューセッツ工科大学(MIT)客員研究員を経て, 平1東大・先端科学技術研究センター助教授。平4同センター教授。平6同大学院・工・計数工教授。盲導犬ロボット, テレイグジスタンス, 人工現実感などの研究に従事。IEEE/EMBS学会賞, 通産大臣賞, 国際計測連合(IMEKO)特別勲功賞などを受賞。IMEKOロボティクス会議議長。現在までに、計測自動制御学会常任理事、SICEフェロー、日本ロボット学会理事、日本バーチャルリアリティ学会初代会長などを務めている。