

基礎論文

ビデオ対話における映像精度の視線認識への影響

---映像精度が高い程良い訳ではない---

森川治^{*1}、山下樹里^{*1}、福井幸男^{*1*2}、佐藤滋^{*1}

Relation between Video Resolution and Gaze Recognition in video communication

--- High accuracy is not necessarily good in video communication ---

Osamu Morikawa^{*1}, Juli Yamashita^{*1}, Yukio Fukui^{*1*2} and Shigeru Sato^{*1}

Abstract: In conventional video communications, gaze direction is not sent correctly and there is not proper eye contact usually. Most studies have tried to simulate it to real world. In this paper we propose a new approach of this problem. Creating the “ambiguously interpretative zone” of the gaze information, and presenting other information that helps to recognize whom the speaker looked at, listeners can select a correct gaze direction from the video image. Experimental result shows that the ambiguously interpretative zone can be created by controlling the video resolution.

Keywords: ambiguously interpretative zone, video communication, gaze information, cognitive feature

1. はじめに

ビデオ対話システムでは、カメラ位置と話し手との位置関係により映像が決まる。その映像は聞き手の位置とは無関係に、どこにいても同じように解釈される。つまり、写真や絵画における「モナリザ視線効果」(モナリザの前を歩いた場合、観察者がどこに立っても同じ視線を感じ取ってしまう効果)と同様な傾向が実験により観測されている[1]。このため、従来のビデオ対話システムでは、話し手がディスプレイ上の聞き手を見ると、聞き手は、話し手が自分を見ていないと解釈してしまう(図1)。逆にカメラ視線で話をすると、聞き手全員が、話し手が自分を見ているように解釈してしまう。その結果、ビデオ対話において、画面上にいる複数の対話相手のうちで特定の人物とだけ視線一致を取ることはできない。

一方、人間の認知特性を巧みに利用する事で、リアリティの高い情報提示手法を構築する新原理が提案されている[2]。これは、「人間の認知モデルを用い、仮想世界の人間の解釈・理解過程を推定し、それに基づき、仮想世界の情報の提示方法を改良し、リアリティ

の高い情報提示手法を構築する」という新原理である。この新原理に基づいて、ビデオ対話における視線一致特性の改良を試みる。

本報告では、この新原理のビデオ対話システムへの適応について述べる。まず、ビデオ視線問題に対する従来の解決法について述べ、新原理を適応するための人間の視線認知特性と認知モデルについて述べる。次

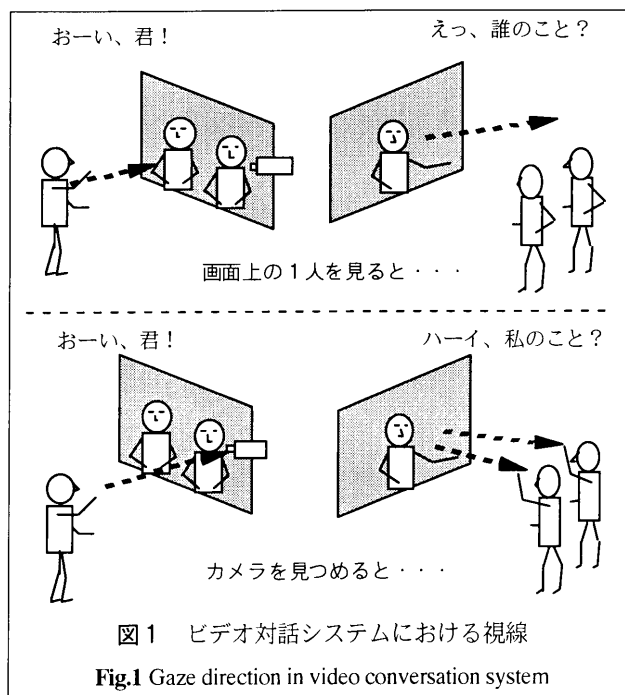


図1 ビデオ対話システムにおける視線

Fig.1 Gaze direction in video conversation system

*1: 生命工学工業技術研究所 人間環境システム部

*2: 筑波大学 電子・情報工学系

*1: National Institute of Bioscience and Human technology

*2: Institute of Information Science and Electronics, University of Tsukuba,

に、問題解決の基本的アイデアを提案し、そのアイデアの具現化に必要な視線認知の多義性領域の存在を実験により検証する。実験では、3種類の解像度で、50cm間隔で並んでいる聞き手へ一人の話し手が話しかけるという状況を設定した。その状況で、視線による被話者の同定開始距離と、矛盾限界距離を計測する。

2. 従来の解決法

このビデオ視線問題に対し、大きく分けて2種類の解決法がある。一方は、ビデオ対話システム側で対面対話と同様な映像を作り出す方法であり、他方は、人間側に対面対話とは異なる事を認識させて、対処する方法である。しかし、前者の解決法を採用して視線一致を目指したシステムでは、カメラ位置と対話参加者との物理的位置合わせが困難であったり、各参加者毎に個別のディスプレイが必要である等、実用化・普及には解決すべき問題点が多数残っている[3][4]。一方、後者の解決法も1種類ではなく、以下に述べるようないくつかの考え方がある。

第1の方法として、視線情報のように誤解を招く恐れのある情報は対話に利用しないという解決法がある。すなわち、TangらのVideoWhiteBoard[5]のように顔画像は伝送せずに、作業空間、書類、風景などの映像に限定する方法である。これは対話目的を限定すれば、かなり有効な手法である。しかし、顔画像には視線情報[6]以外にも対話に有効な情報が多く含まれており[7]、できれば対話に有効利用したい。

第2の方法は、環境を変えずに人間の認識能力・学習能力を利用する方法である。利用者が、「相手がビデオモニタを見ている時の視線」を学習し、それが「相手が自分に注意を払っている」と理解するように変化させるというのが、この方式の一つの解決法である。いわゆる「システムに慣れる」ということであり、長期観察により、この方式を肯定する報告もある[8]。ただし、従来のビデオ対話システムのままでは、利用者がその対話環境に慣れるのに、多くの時間がかかると思われ、得策ではない。さらに、その「慣れた」状態が利用者にとって心地よいという保証もない。そのためには、新しい処理方略が容易に創作でき、日常生活のほかの場面に悪影響を与えないような環境を設計することが望まれる。

第3の方法として、誤解を招く情報も伝達するが、利用者がそれを誤って使用しない様な環境を提供する

方法がある。

本研究では、この3番目の考え方に従い、対面対話を模倣せず、ビデオ対話にふさわしい対話方式を確立することを目指す。そのためには、誤解を招く恐れのある視線情報を、どのように無害化するかについて考える必要がある。そこで、対話時に人間が視線情報を含め対話に利用するいろいろな情報をどのように加工して取捨選択しているのかについて考えてみる。

3. 対面対話における視線認知

実空間では、話し手が聞き手と十分離れている場合には、話し手の視線方向に関係なく、お互いは無関係と感じる。この距離は心理学における「公衆距離」に相当し、Hall[9]によれば、約3.7m以上である。

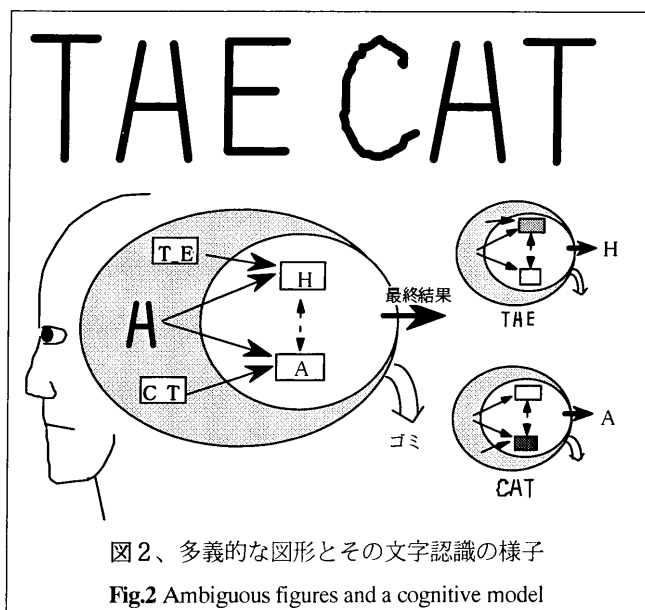
お互いの距離が縮まって「社会距離—遠方相：2.1m～3.7m」になると、話し手の存在を無視できなくなり対話を開始する。そのため、聞き手らは、話し手が誰に話しかけているのかの同定を試みる。さらに近付き「社会的距離—近接相：1.2m～2.1m」になると、通常の対話が可能になり、同時に被話者の同定の精度も向上する。

被話者の同定には、対話相手との距離や、自分の近くににいる別の人までの距離が関係する。自分の近くに何も無く誰もいない場合には、対話相手が自分の方を向いていれば、それだけで自分を見ていると解釈できる。逆に、すぐ隣に人がいる場合には、対話相手が自分を見ているのか、すぐ隣の人を見ているのかは、周囲に誰もいないときのように簡単には判断できない。判断の為には、対話相手の視線を詳細に観察する必要がある。

4. 人間の認知モデル

意識的に利用している情報だけでなく、人間は五感を通して多くの情報を常に取得しながら活動している。さらに人間の各種の情報処理能力にはそれぞれ限界がある。そして、各感覚器官から得た各種情報を並列的に処理し、ある程度処理がまとまった時点で、過去の経験や知識を組合わせて安定性のある適切な解釈を得ている[10]。

すなわち、言葉を変えれば、我々が事物を理解してある解釈を選択する場合、その解釈を肯定する情報だけではなく、それ以外の、解釈を否定するような情報も、有効に使用していると考ええる。この考え方の導入



が、新原理の重要なアイデアのひとつである。

一方、Thagard[11] は、我々が矛盾を含む多くの情報をどのように処理して、そこから首尾一貫した結論を導くかについて定式化し、その首尾一貫性を求める手法について5種類のアルゴリズムを提案し比較検討している。

本報告ではその中の一つであるコネクションISTアルゴリズムを、さらに制約を厳しくして単純化したモデルを用いる。人間の情報処理の内容は、生理神経レベルというハードウェアで高速に独立に処理をする部分と、それらの処理結果を取捨選択して総合判断を下す部分の、2段階からなるとする。総合判断処理部は意志の影響を受ける部分とし、この部分での処理をコネクションISTアルゴリズムを用いて記述する。

このモデルより、対話環境に対する人間の反応として、次の様な性質を持つと考える。

(A) 複数の情報処理経路により導かれる結論が同一の内容の場合は、それを導いている情報の一部が欠如しても、信頼性が低下するだけで結論内容は変わらない。場合によっては、全く結論への影響が無い。

(B) ある経路により導かれる結論に曖昧性・多義性がある場合、他の経路により導かれる結論と矛盾しない解釈が選択される。

(C) 複数の経路により導かれる結論が互いに矛盾する場合には、用いる処理方略により、その扱いに多様性が見られる。多様性には、一方を無視する、両方の解釈の間を揺れ動く、矛盾を解消する新たな処理方略を創作する等がある。

このように考えると、誤った解釈をもたらす視線情報が、対話に害を及ぼさないためには、曖昧さ・多義性をもって視線認識結果が得られるようにすればよい。それと同時に、視線情報に代わる、対話相手を同定する信頼性の高い情報を、対話環境が提供できれば良いことになる。

5. 多義的情報の有効利用

心理学では良く知られた例であるが、英語を知っているほとんどの人が図2上部を「THE CAT」と読む。物理的には、2文字目のHと5文字目のAは同じパターンである。このパターンがTとEの間であればHと、CとTの間であればAと即時的に認知される。それは、英単語であるという認識が、読む人にそのつもりで読ませる知的スキーマとなって読み方を決定づけている。

図2下部はその様子を図示したものである。入力パターンは文字HとAという解釈を支持する。解釈HとAはそれぞれ排他的関係にある。「T__E」という文脈は解釈Hを支持し、「C__T」は解釈Aを支持する。解釈HがAに勝てば、結果として入力パターンをHと認識し（右上段）、解釈AがHに勝てば、Aと認識する（右下段）。

同様な例として図3がある。これも上段2文字目と下段4文字目は同じパターンである。上段ではアルファベットのBとして、下段では数字の13として認知される。これもアルファベット列である、数字の列であるという知識の枠組みが、読む前の予期的選択となって読み方を決定づけている。

前述の通りビデオ対話システムでは、相手側に複数の人がいる場合、モノリザ視線効果により、その内の一人だけに視線を送る事は不可能である。しかし人間の認知特性を巧みに利用することで、一人だけに視線を送ることができる可能性がある。それは、「自分を



図3、多義的な図形の例（その2）

Fig.3 Second example of ambiguous figures

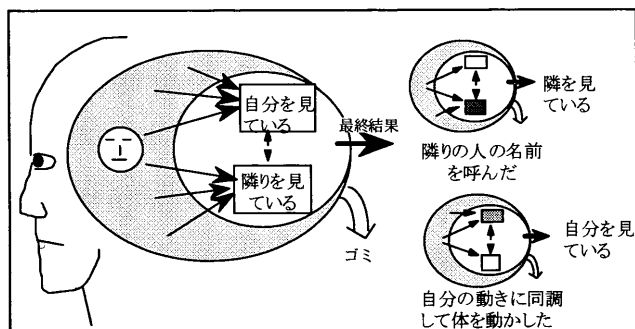


図4、認知過程

自分を「見ている」とも「見ていない」とも取れる多義性のある映像は、他の情報により、解釈が決定される。

Fig.4 Cognitive process

Ambiguous images are recognized with other information.

「見ている」とも「別のの人を見ている」とも解釈可能である映像を作り出し、「THE CAT」の例や「Bと13」の例のように、話しかけられた人には「自分を見ている映像」として解釈させ、そうでない人には「別のの人を見ている映像」と解釈するように誘導する知的スキーマを演出する解決策である（図4）。言い換えれば、人間の認知モデルにおける人間の首尾一貫性を求める脳内処理を意図的に活性化させ、視線一致の問題解決を図ることになる。これは「システムに慣れる」解決法[8]とは異なる。知的スキーマにより、正しい視線を読み取っているにも係わらず、利用者はモニタ上の相手の視線だけから正しく視線を読み取っていると感ずることになる。それには、努力も学習も必要ない。

この解決策の実現には、ビデオ対話において、「自分を見ている」とも「別のの人を見ている」とも解釈可能な多義的な映像を作り出す必要がある。前述の通り、実空間において被話者の同定には、話し手との距離と、聞き手の近傍の人との距離が影響を与えるが、ビデオ対話の場合、これに加え、ビデオ画面の「解像度」も影響すると考える。そこで、解像度が視線認知に与える影響を実験により測定した。

6. 実験

実験では解像度を3種類用意する。なお、NTSCレベルより高品位の画像分解能での特性を測定対象としたかった為、ビデオ映像ではなく、レースのカーテン越しに対話相手を見るという実空間での実験とした。すなわち、高解像度条件はカーテンなし、中解像度条件は1枚、低解像度条件は2枚とした。実験に使

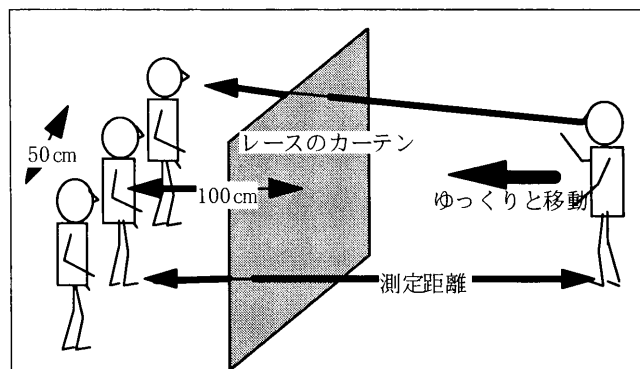


図5、被話者同定を開始する距離の測定の様子

Fig.5 Measurement of the distance to identify the speaker

用したレースのカーテンは、昭栄編物製のソフトチュール1820番である。

実験では、被話者の同定を開始する距離（実験1）と、視覚による被話者の同定結果と他の状況が矛盾する場合の許容限界距離（実験2）を測定する。

実験1：被話者同定距離の測定

設定：実験は4名一組で行う。聞き手役3名と話し手役1名に分かれる。人数が足りない場合には実験者が聞き手役に加わり人数調整する。聞き手役の3名は50 cm間隔で横一列に並ぶ。聞き手の前方1 mのところに解像度調整用のレースのカーテンを配置し、カーテン越しに話し手を見る。

条件：解像度として3段階、話しかける相手が3人の計9条件とする。なお実験では3人の聞き手の内の1名を見るので、各聞き手は、見られている場合が3条件に対し、見られていない場合が6条件になる。

手順：話し手は、ゆっくりと聞き手の方に一步步近づきながら、実験者の指定した聞き手の一人を見て「こんにちは」と言って話しかける。聞き手らには、それが誰かは伏せておく。聞き手は、全員うなずいて返事をする。この状態で聞き手の被験者達に「話し手が誰に話し掛けているのか、何となく同定できると感じた距離」になった時点で手を挙げてもらい、話し手と聞き手の距離を測定する。この場合、同定結果の正誤は問わない。これを解像度毎に4試行ずつ測定し、それらの平均値を測定値とする。話しかける相手、解像度はあらかじめ決めた順序で行う。

なお、全員が同時にうなずいて返事をするため、被話者同定の判断に影響を及ぼすことは無い。つまり自分がうなずいた直後に話し手に変化が現れたとしても、その原因が、自分がうなずいた為なのか、隣の人



図6、視線のズレが気になる距離の測定の様子

Fig.6 Measurement of the distance to worry the gap of gaze

がうなずいた為なのか、どちらに原因があるとしても一貫性のある解釈を導くことになり、話しかけている相手を同定する情報源にはならないからである。

実験2：矛盾許容限界距離の測定

設定：実験は2名一組で行う。まず、聞き手役1名と話し手役1名に分かれる。聞き手の左右どちらか一方に18型ビデオモニタを置く。これには遠方のカメラで撮影した聞き手の映像を、等身大表示し、聞き手とモニタ上の映像との距離は50cmとする。聞き手の前方1mのところに解像度調整用のレースのカーテンを配置し、カーテン越しに話し手を見る(図6)。

条件：解像度として3段階、話しかける対象者として、聞き手と隣人の2種類の計6条件とする。

手順：聞き手条件では、話し手は、モニタに映った聞き手に「こんにちは」と話しかける。聞き手は呼びかけにうなずいて答える。話し手は聞き手に一歩ずつ近づきながらこれを繰り返す。聞き手に、視線のズレにより「対話を継続するのが不自然で苦痛になる距離」になった時点で手を挙げてもらい、その時の話し手と聞き手の距離を測定する。

同様に、隣人条件では、話し手は聞き手を見ながら呼びかけをする。聞き手は、傍観者として呼びかけに応答しない。「傍観者として無視するのが苦痛になる距離」になったら手を挙げてもらい、その時の話し手と聞き手の距離を測定する。

1回の解像度毎に、2条件を交互ではなく乱数により決めた順序に従い各4回ずつ測定し、それらの平均値を測定値とする。解像度もあらかじめ決めた順序で行う。

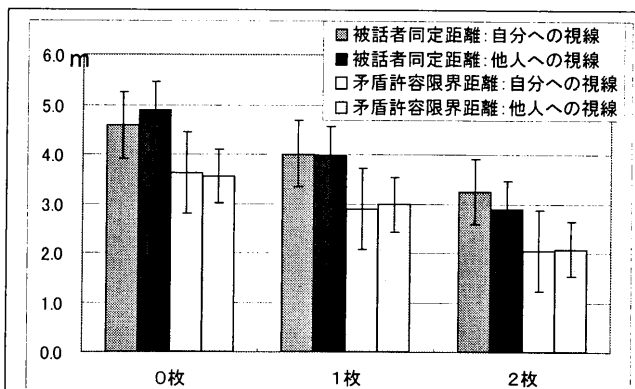


図7、測定結果

Fig.7 Result

被験者：実験1、2とも被験者はお互いに顔見知りの2人から4人一組の10才代から50才代までの男女17名(内女性13名)であった。

7. 結果

実験1において、3人の聞き手の中央に立つ被験者の場合、左右どちらの聞き手への話しかけでも、話し手の視線のずれは50cmである。しかし両端に立った聞き手の場合、中央の聞き手に話しかけている場合のずれは50cmであるが、反対側の聞き手に話しかけている場合のずれは100cmとなり、他の条件の倍となる。そこで、これら条件での測定データは他の条件と比較できないので、解析には使用せずに棄却した。一方、中央の被験者のデータは左右2種類あるので、それらの平均値をもって、その条件での測定値とした。

各条件での全被験者のデータの平均値は、図8の通りであり、いずれの条件でも、実験1の被話者同定距離が実験2の矛盾許容限界距離より長かった。

それぞれの間には統計的に危険率1%以下で有意差が認められた(スチューデントのt検定、見られている場合の高解像度条件 $t(16)=5.07$ 、中解像度 $t(16)=6.30$ 、低解像度 $t(16)=4.79$ 、見られていない場合の高解像度 $t(16)=6.13$ 、中解像度 $t(16)=9.54$ 、低解像度 $t(16)=3.65$)。

また、画質の低下に伴い、これらすべての距離が減少した。この減少傾向も危険率1%以下で解像度間に有意差が認められた(自分が見られている場合の被話者同定距離の高解像度条件と中解像度条件 $t(16)=3.07$ 、中解像度対低解像度 $t(16)=4.12$ 、同じく矛盾許容距離の高-中 $t(16)=6.78$ 、中-低 $t(16)=8.75$ 、自分が見られていない場合の被話者同定

距離の高一中 $t(16)=10.15$ 、中一低 $t(16)=10.53$ 同様に矛盾許容距離の高一中 $t(16)=7.00$ 、中一低 $t(16)=11.30$ 。なお、実験1の同定開始距離には、見られている場合と見られていない場合の2種類あるが、それぞれ、両者の間に統計的な有意差は認められなかった。同様に、実験2の矛盾許容限界距離にも、被話者が自分の場合と隣人の場合の2種類があるが、それぞれの距離の間にも統計的な有意差は認められなかった。

8. 考察

高解像度条件（すなわちレースの無い条件）では実験1と実験2の測定値で囲まれる領域（以下、これを視線認知の多義的解釈領域と呼ぶ）は、3.7mから4.7mであり、心理学における「公衆距離」に相当する。従って、この範囲の対話相手の視線は、見られている、別の人が見られている、といった両方の解釈が可能である事が実験で確かめられたが、対話をするには遠すぎる不適合である。

しかし低解像度条件である2枚レース条件では、視線認知の多義的解釈領域が約2.0mから2.9mの領域となった。この距離は、対話する適切な距離である「社会的距離(1.2m～3.7m)」に位置づけられる。この多義的解釈領域内にいる相手なら、話しかけられるのが自分であっても隣にいる人であっても不自然さを感じる事なしに、対話者本人、あるいは傍観者としていられる。さらに、この距離・画質は、対話相手の目の動きなど詳細な情報は伝わらないにしても、表情やジェスチャー等の対話に有用な情報は伝わる精度であった。

実験1では、視覚情報以外の被話者同定に利用可能な情報を、計測のためにできるだけ排除する意味で、話し手の呼びかけに全員が同じ応答（うなずき）を返すように教示した。しかし、実際の対話時には身体リズムの引き込み現象[12]等のノンバーバル情報を積極的に利用することにより、対話相手の同定が可能であるので、さらに被話者同定距離は遠くなり、視線認知の多義的解釈領域が拡大すると考えられる。

実験2では、実験者が実験開始時に被話者を明言した。ビデオ対話に本方式を応用する場合には、実験時の実験者の指示に代わる解釈誘導用の情報が必要である。しかし、対話時の我々は名前を呼ぶような明示的な同定だけでなく、対話内容や、ノンバーバル情報による非明示的な同定も利用できる。

ビデオ対話システムにおいては画質精度の制御が可能のため、本実験結果の知見をシステム設計時に積極的に利用する事が可能である。しかし今回の実験結果を定量データとして、そのままビデオ対話システムの設計・制作に使用するには、問題がある。例えば、ビデオ映像は2次元平面の為、モノリザ視線効果があるが、今回の実験では3次元映像である点、ビデオ映像の空間分解能の低下とレースのカーテン越しによる空間分解能の低下が同質のものであるかという点、さらに同質と仮定した場合でも、画質低下の度合いの定量的な対応付けの問題がある。しかし、人間の認知特性の定性的な傾向を知る意味では意味のある結果と考える。すなわち、ビデオ対話映像の空間分解能精度とカメラおよびスクリーンの大きさ等を調整することにより、「対話相手が、自分たちを見ている気は確かにするが、誰を見ているのかは、視線だけではちょっと判断できない」というレベルを満たすことが可能であり、その曖昧・多義解釈の領域にはある程度の幅があることが示唆された。

重要な点は、対話者が視線認知の多義的解釈領域の映像を見て被話者を同定した場合、実際は、同時呈示される別の情報が知的スキーマとなって、同定を決定つけていても、対話者が映像からみて同定したと感じる点である。そのため対話者は、ビデオ対話に適した解釈を学習して「システムに慣れる」必要はない。

さらに、本報告で主張したいもう一つの点は、対話メディアに限定すれば、「伝えられる情報が多いほど、その精度が高いほど、望ましいメディアである」という命題は必ずしも正しいとは言えないという事である。正しく伝わらない情報、誤解を与え兼ねない情報は、曖昧性・多義性をもって呈示される方が、別の正しい情報によって補正される余地がある事を意味し、対話システムとして見た場合にはその方が望ましいと考える。

9. おわりに

本報告では、ビデオ対話における視線問題に対し、視線認知の多義的解釈領域を確保し、被話者同定の別情報との組み合わせによる解決法の可能性を示した。

実験により、視線認知の多義的解釈領域を、解像度を制御することで確保できることを示した。対話者が多義的解釈領域のビデオ映像を見た場合、知的スキーマにより正しい視線を読み取っているにも係わらず、

モニタ上の相手の視線だけから正しく視線を読み取っていると感ずることになる。その為、自然なビデオ対話が期待できる。

今回の実験では、NTSCレベルより高品位の画像分解能での人間の視線認知特性を測定対象としたため、ビデオ画像ではなく、カーテンを用いた実空間での実験となった。本報告での実験結果は、定量的というより定性的な結果といえる。近年の技術の進歩は著しいものがあり、近い将来、現在より高品位の画像がより多くの場面で扱えるようになると予想される。その時、新たな問題が持ちあがる可能性を指摘したい。すなわち、それらの問題は現在のシステムでも潜在しているが、低解像度（NTSCレベル）であるが故に表面化しただけで、高解像度になったとたんに、それらが表面化してくる可能性がある。つまり、現在のシステムが特に問題無く機能しているとしても、それらの多くは、実は人間の認知特性とシステムの特性の絶妙なバランスの上に成立しているのではないのかという問題提起でもある。VR（バーチャルリアリティ）技術では、ある面で現実をできるだけ忠実に再現する事を使命とするが、また別の面では、現実の世界とは別の、実世界では実現不可能な状況を生み出す事も望まれている。何れの場合でも、VR技術の恩恵を受けるのは人間であり、人間の特性と技術のバランスの上にVRは成立する。

本理論の実用例として超鏡対話[13]がある。超鏡対話は全対話者が同一のビデオ画面上に表示される対話方式であり、画面上での位置関係や身体の向き情報がそこの被話者同定条件として利用できるように設計されている。もちろん、本論文での視線問題の解決方法および実験結果は、超鏡対話以外にも活用できる一般性のある理論である。人間の認知特性を考慮したビデオ対話システムの開発に、本研究結果を生かしたい。

参考文献

- [1] 森川治：対話における視線認知特性の対面対話とビデオ対話の違い、Progress in Human Interface,6,pp13-20(1997)
- [2] 森川、福井、山下、持丸、山内：認知モデルに基づいた情報提示方法発見の新原理---擬似立体視への応用---、VR学会論文誌,Vol.4,No.1,pp.339-346(1999)
- [3] 岡田、松下：臨場感のある多地点テレビ会議システム：MAJIC、情報処理学会論文誌、Vol.36,No.3,pp775-783(1995)
- [4] 宮里、岸野、寺島：臨場感通信会議における参加者の対面状況の保持特性の評価、信学論 A,Vol.79-A,No.2,pp518-526(1996)
- [5] Tang,J. & Minneman,S., VideoWhiteBoard Video Shadow to Support Remote Collaboration,Proc. CHI'91,315-322(1991)
- [6] Kendon, A: Some functions of gaze direction in social interaction. Acta psychologica,26,22-63(1967)
- [7] 伊藤、矢野：顔情報は人のコミュニケーション能力にどのような影響を与えているのか？、日本認知科学会第 14 回論文集、pp.170-171(1997)
- [8] Dourish,P. et al.:Your Place or Mine? Learning from Long-Term Use of Video Communication, Technical Report EPC-1994-105(1994)
- [9] Hall,E. T., 「かくれた次元」、日高敏隆、佐藤信行訳、160-181 みすず書房、1970
- [10] 森川治：対話へのメディアの影響説明用の人間情報処理モデル、情報処理学会 HI 研究会資料 HI60-6,pp.41-47(1995)
- [11] Thagard, P., & Verbeurgt, K. (1998). Coherence as constraint satisfaction. Cognitive Science, 22: 1-24.
- [12] 渡辺富夫：コミュニケーションにおける身体性、ヒューマンインタフェース学会誌,Vol.1,No.2,pp.14-18(1999)
- [13] Morikawa, O. & Maesako, T.; HyperMirror : Toward Pleasant-to-use Video Mediated Communication System, CSCW'98,149-15(1998)

(2000 年 9 月 29 日受付)