

複数の非言語情報を利用した嘘の読み取りとその自動化

大本 義正^{*1} 植田 一博^{*1} 大野 健彦^{*2} 小松 孝徳^{*3}

Detecting a "lie" by using diverse nonverbal information and its automation

Yoshimasa Ohmoto^{*1}, Kazuhiro Ueda^{*1}, Takehiko Ohno^{*2} and Takanori Komatsu^{*3}

Abstract - Interactive and autonomous agents are considered to participate in our daily life in the future; in this situation, we expect that the agents have ability to communicate with people naturally. For natural communication, the agents should speculate about humans' intentions. For speculating intentions like deception, in this study, we focused on unconscious expressions when people tell a lie. Then, we experimentally investigated whether "lies" in a situation similar to actual communication were discernible by using nonverbal information such as gaze, prosody and facial expressions. We found that a discriminant analysis achieved 75-85% success rates in discriminating the participants' lies using 4 of 13 variables. The selected variables contain all the modalities to which we paid attention. The selected variables changed with situations and individuals. The discriminant function discriminated about 80% of an unknown data set of lies that was acquired for the same people under a similar condition. For discrimination of lies by agents, it is necessary to automate the measuring. For this purpose, we made an automatic measuring system of gaze directions and facial feature points. Then, we conducted an experiment by using the system. Therefore, we could get a clue that agents had a potential to speculate about human's intentions.

Keywords: communication, nonverbal information and lie

1. はじめに

近年めざましく発展している自律型エージェントが、我々の生活の中に入ってくることもさほど遠い未来のことではないと言われている。このような自律型エージェントは、人間の仕事を肩代わりする自動機械として振る舞うことだけでなく、人間と円滑にインタラクションし、社会に参加する能力が求められている。そのためには、人間と自然にコミュニケーションできる能力がこれら自律型エージェントに必要なと考えられる。

人間同士の自然なコミュニケーションにおいて、発話や行動の意味を正確に理解するには、言語情報などの記号的なメッセージを正確に理解するだけでは十分ではない。発話者や行為者の意図を推測するための情報は、非言語情報にもしばしば漏洩する。例えば、「ええ」という感嘆詞は、発話する際の韻律によって様々な意味になることが、実験的に示されている^[4]。もし我々の伝達すべき意図をすべて記号的なメッセージに置き換えるとしたら、コミュニケーションは著しく不自然なものとなるだろう。しかも、このような非言語情報への表出の多くは、本人にとっては無意識に行われている。

我々の日常的なコミュニケーションでは、特にマル

チモーダルな非言語情報を統合的に用いて、漏洩する情報から意図を推測する^{[1],[9]}。皮肉や冗談を伝える表情や仕草、緊張や不満などの心理状態が微妙な形で表出された韻律や表情などは、意図を推測する手がかりとなる情報がマルチモーダルな非言語情報に漏洩した例である。非言語情報から意図を推測しようとする先行研究では、言語情報（音韻）と単一の非言語情報の統合的な利用を考慮した研究はあるものの^{[17][18]}、人間が実際に行っているように、マルチモーダルな非言語情報を統合的に利用して意図を推測しようとする研究はほとんどない。

しかしながら、人と自然なコミュニケーションを行うエージェントには、マルチモーダルな非言語情報に無意識に漏洩する意図を推測することが必要となろう。我々の研究の目的は、「自然なコミュニケーションにおいて、意図を推測する手がかりとなる無意識に漏洩する情報を、マルチモーダルな非言語情報から自動判別するシステムを開発する」ことである。

一般的に、非言語情報に情報が漏洩していることを特定するのは難しい。なぜなら、実際の意図の内容を客観的に特定することが困難だからである。しかし、嘘をつく場合では、発話内容の真偽から「だまそうとする意図」を客観的に推測できる。そこで本研究では、隠蔽したつもりでも無意識に漏洩する情報から意図を推測する代表的な例として、嘘をつく場合に焦点を当てた。

嘘をつく時に非言語情報に様々な変化があることは、多くの研究者によって報告されている^[11]。しかし、それらの報告のほとんどは、コミュニケーション中の自

*1: 東京大学大学院 総合文化研究科

*1: Department of General System Studies, The University of Tokyo

*2: NTT 第二部門

*2: NTT Department II

*3: はこだて未来大学

*3: Future University-Hakodate

発的な嘘を扱っていない。人間とコミュニケーションするエージェントへ応用することを考えると、コミュニケーション中の自発的な嘘における、非言語情報の変化を分析する必要がある。そのために、嘘をつくかどうかの選択を被験者が自発的に行うことができるゲーム環境を実験環境として設定した。

この実験環境において、人間同士のコミュニケーションの様子から、無意識に情報が漏洩している非言語情報の特徴を分析した。さらに、その結果をもとに、表出された非言語情報から嘘を判別する手がかりを自動的に得るシステムを構築した。

以上をまとめると、本研究の具体的な目標は以下の三つである。(1) 嘘をつくかどうかの判断をコミュニケーションの中で自発的に行うことができる実験設定を提案する。(2) 人間同士の実験によって、嘘をつく際に表出される様々な非言語情報の特徴を調べる。(3) 人間同士の実験の知見から、嘘を判別する手がかりを自動取得するためのシステムを構築する。

以下、「意図」は「直接的に観測できないが本人が方向性を持って行おうと考えている内的な表象」、「変数」は「情報の一部で分析対象となる外的な表象」、「嘘」は「だまそうとする意図を持った、事実と異なる言語的陳述」^[6]とする。

本論文の構成は以下の通りである。第2章では本研究で行った実験の概要を説明する。第3章では実験の分析結果と考察を述べ、第4章で、嘘を判別する手がかりとなる情報を自動計測するシステムとそれを用いた実験を紹介する。第5章で本研究の結論を述べる。

2. 人間同士のコミュニケーション実験

本研究では、コミュニケーションの中で自然に嘘をつく状況を作り上げるため、アレンジ版インディアンポーカーを利用して人間同士のコミュニケーション実験を行った。そして、被験者がこのゲームを行っている際の、表情、音声、視線をビデオに記録した。各非言語情報の具体的な内容は3.1節で述べる。

2.1 ゲーム

インディアンポーカーとは、トランプを一枚めくって自分には見えないように額の前に掲げ、持っているカードの数字が大きいプレイヤーが勝ちとなるゲームである。例外的に、1 (A) は一番強い。自分のカードが弱いと感じたら、勝負から降りることができる。負けたときよりも途中で勝負を降りたときの方が失う点数が少ない (表1)。見えている他のプレイヤーのカードの強さと、他のプレイヤーとのコミュニケーションによって、降りるか勝負するかを決定する駆け引きを行う事になる。

本実験で用いたアレンジ版インディアンポーカーとは、通常のインディアンポーカーに、「他の全てのプレイヤーが絵札 (11, 12, 13) であれば、2, 3, 4のカード

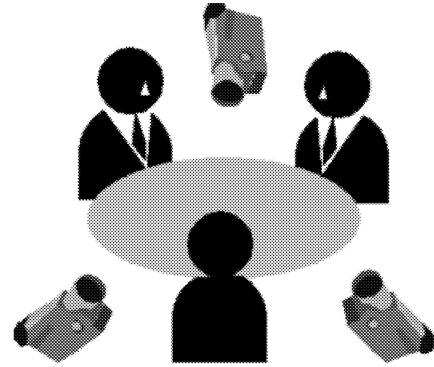


図1 位置関係

Fig. 1 Position of each participant and camera

が勝つ」というルールを加えたものである。これによって、単純な確率計算だけでは勝敗を予測しにくくなる。

インディアンポーカーは、自分のカードが弱いと感じたら、勝負から降りることができる。負けたときよりも途中で勝負を降りたときの方が失う点数が少ない。従って、見えている他のプレイヤーのカードの強さと、他のプレイヤーとのコミュニケーションによって、降りるか勝負するかを決定する駆け引きを行う事になる。

他のプレイヤーが勝負するかどうかにによって自分のとるべき戦略が変わるため、コミュニケーションの中で、相手プレイヤーが勝負するか降りるのか、あるいは、自分を勝負させようとしているのか降ろそうとしているのか、という意図を読むためのやりとりが発生する。このやりとりの中で、相手をおろさせたり、勝負させたりするために、嘘をつかなくてはならない状況が生じる。

このように、インディアンポーカーを採用した理由は、嘘をつくかどうかを、実験者の指示によらずに自分の意思に基づいて、プレイヤーが自発的に選択することが可能だからである。これによって、実際のコミュニケーション場面に近い環境で、コミュニケーション中に現れる嘘を観察することができる。

2.2 実験環境

ゲームには3人の被験者 (プレイヤー) が参加した。3人の被験者はテーブルを囲むようにして座り、正面には記録用のビデオカメラ (Panasonic NV-GS100K) が置かれた (図1)。被験者はこの状態でアレンジ版インディアンポーカーを行った。被験者の発話・行動は統制されておらず、自由にインタラクションすることが許された。被験者は実験後に謝礼を受け取ったが、謝礼の額はゲームによって得た点数によって、2倍程度増減した。これによって、うまく嘘をつくことで利益を得られ、失敗すると損失を被ることになる。また、このことは実験前に知らされていたため、被験者は、嘘をつくことが自分の利益と損失につながることを認識していたと考えられる。

2.3 被験者

ゲームの被験者3名はお互いに知り合いである大学院

生2名と実験者自身であった。実験者が被験者としてゲームに参加した理由は、ゲームを初めて行う人ばかりでは円滑なコミュニケーションを行うことが難しく、嘘をつく頻度も低いことが予備実験から明らかになったからである。ゲームにおいて、実験者は、基本的に通常のプレイヤーとして振る舞った。

2.4 実験手順

以下のような手順で実験を進行した。

- 1) 3人の被験者がテーブルを囲んで座った (図1)。
- 2) アレンジ版インディアンポーカーの戦略に関する簡単なインストラクションを行った。
- 3) 実験者がカードをよく混ぜて1枚ずつ配った。
- 4) 被験者は、配られたカードが自分に見えないように額の前に掲げるよう指示され、指示を実行した。
- 5) 各被験者は、相手を降ろさせたり、勝負させたりする駆け引きを自発的に行った。
- 6) 各被験者は、最終的に勝負するか降りるかを決定し、自分のカードをお互いに見えるように出した。
- 7) 勝敗が決定したら、降りた人と負けた人は勝った人に規定のチップを渡した。
- 8) 上記3～7を1回の試行として、これを繰り返した。

1回の試行の平均所要時間は4分43秒、ゲームプレイの平均は2分31秒、SDは0.98であった。コミュニケーションが活発でない場合は、実験者が会話をきり出した。

被験者の非言語情報の表出に長期的な変化が見られるのかどうかを調べるため、3ヶ月の間隔をおき、上記の手順で同じ被験者に2回目の実験を行った。試行数は、1回目の実験が20回、2回目の実験が17回であった。

以上より、実際のコミュニケーションに近い状況における嘘を観察した。また、同一被験者に期間をあけて繰り返し行うことで長期的な変化を調べた。

3. 結果と分析

3.1 発話例

以下に、本実験中になされた発話の例を示す。ゲームに参加している自分以外の被験者を、A、Bとする。

自発的な発話：(二人のカードを評価して)「今回はAのカードが強いな。Bは降りた方がいいよ」。(勝負の最後で)「今回は勝負する。勝てる気がする」。

相手の発話に対する応答：(カードに関する質問に対して)「おまえよりもBのカードの方が強いよ」。(勝負を勧められて)「いや、負けそうだから勝負しない」。

いずれの発話も、嘘と本当の両方の場合がある。このことから、本実験環境では、自発的に嘘がつかれることが確認された。また、相手の発話に対する応答において嘘をつく場合でも、嘘をつくかどうかの選択は自発的に行われていることが確認された。従って、本実験環境は、自発的な選択によって嘘をつく環境として適切であ

表1 変数一覧

Table 1 List of variables

非言語情報	変数
視線 (3 個)	発話相手注視割合 コミュニケーション情報注視割合 注視対象推移割合
韻律 (9 個)	音声の高さ (前半・後半・変化) 音声の大きさ (前半・後半・変化) 音声の速さ (前半・後半・変化)
表情 (1 個)	目元よりも口元が早く反応したか

ったと考えられる。

以下ではこうした発話を行っている際に表出する、非言語情報を分析する。

3.2 分析対象

非言語情報から嘘を発見する手がかりを得る事ができるということは以前から言われている。例えば、観察や計測によって見いだされた、嘘 (欺瞞) を見破る手がかりになると考えられている非言語情報には次のようなものがある^[11]：息継ぎのタイミング、笑うときの目の周りの筋肉、体の動揺、言い淀み、笑う回数、相手のことが好きか嫌い、目をそらす、視線の動く方向、表情の微妙な違い、手の動き、足の動き、声のピッチ、声の大きさ、発話時間、発話潜時、瞬目、視線を投げる回数、注目している時間、発話の言い直し、発話回数。

本研究では音韻情報に関しては扱わない。そのため、音韻情報と密接に関係するものに関しては注目しなかった。また、体の動揺と発話潜時、視線の動く方向、瞬目に関しては、被験者同士が発話するタイミングや位置関係に左右されるため除外した。結果的に、本研究では、視線を投げる回数、注目している時間、声のピッチ、声の大きさ、表情 (笑い) について着目した。

上記の非言語情報以外にも、心拍、皮膚の温度、筋電等の生理指標が、ポリグラフで利用されている。しかし、このような生理指標は、漏洩する情報には違いないが、日常的なコミュニケーション中に読み取ることが困難であるため、本研究では扱わなかった。同様の理由から、人間にとって観測しにくい微妙な変化には注目せず、比較的観測が容易な指標に絞って分析を行った。

分析では発話を一つの単位とし、実験を記録したビデオから発話単位を切り出した。発話単位は、被験者の自発的な発話開始から発話終了後0.5秒までとした。発話単位を発話終了直後で切らなかったのは、発話終了直後には視線の移動や表情の変化が完了していないことが多く、区切りとして不自然だったからである。

次に、発話単位ごとに「視線」「韻律」「表情」の変数を抽出した。その際、これらの非言語情報の表出が意図的であるかどうかは問題にらなかった。また、うなり

声など言語情報として意味を捉え難い発話は分析対象から除外した。分析対象となった変数は表1に示した通りである。表1の変数13個を独立変数とし、嘘をついているかどうかを従属変数とした。ただし、全ての変数が互いに完全に独立なわけではない。

以下、表1に示した各変数について説明する。

視線方向の対象は、被験者の顔の向きと視線の向きで判断した。視線の向きは記録されたビデオと実験時の被験者の位置関係によって判断できた。発話中に話しかけている相手を注視している時間を発話単位の総時間で割った値を、「発話相手注視割合」とした。発話中にコミュニケーションに利用する情報を持っている可能性のある対象（今回の場合は、自分以外の被験者2人の顔および掲げているカード）を注視している時間を発話単位の総時間で割った値を、「コミュニケーション情報注視割合」とした。0.4秒以上の停留を「注視」として、注視している対象が発話中に推移した数を発話単位の総時間で割ったものを、「注視対象推移割合」とした。

韻律については、発話単位中の時系列変化を変数とするために発話単位を前半と後半に分け、高さはピッチの平均、大きさはパワーの平均、速さは時間あたりの発音数を、それぞれ観測し、各被験者の平常状態より高いか、同じか、より低いかによって3段階に量子化した。平常状態は各試行の合間に行われた会話の平均を基準にした。このように量子化したのは、マイクの指向性が十分ではなく、マイクと被験者の位置関係も変化していたため、微妙な変化を捉えることができなかったからである。また、実際に三段階程度の粒度の変動が特徴的だったので、判別に利用するには十分だと考えた。発話単位中の変化は、発話単位の前半より後半が高ければ+1、低ければ-1、変化がなければ0とした。

表情に関しては、様々な微妙な変化が表出することが予想された。しかし、表情の微妙な変化は人間には観測しにくいことがある。また、撮影したビデオの解像度が十分ではなく、被験者は発話を行いながら頭を動かすことがあったため、微妙な変化の検出は困難であった。

そこで、嘘をついたときには作り笑いをすることが多いことに注目した。作り笑いの研究^{[7][8]}において、目の表情変化と口の表情変化の開始時間に差があることが知られている。他に作り笑いに関する適当な知見は我々の知る限り存在しないので、「目元よりも口元の方が早く反応したかどうか」という真偽値を表情の代表的な変数とした。目元よりも口元の方が、5フレーム以上早く反応したと判断できる場合を1（真）とし、それ以外はすべて0（偽）とした。口元のみが反応したものは1

（真）とした。「目元の変化」とは、アクションユニット^{（*1）}（AU）の5～7および41～44にあたり、「上まぶたをあげる」「頬をあげる」などの変化である。また、「口元の変化」とは、AUの12, 20, 27にあたり、「唇の端をあげる」「唇を横に引っ張る」などの変化である。

発話単位ごとに非言語情報を表2に示す変数へ分類する作業は、実験者がビデオを見て行った。データの信頼性を検証するために別のコーダにデータのコーディングを行ってもらい、一致率をとった。その結果、81%の一致率があったため、データのコーディングの信頼性は確保されていると考えられる。

3.3 判別分析

3.3.1 分析手順

観測した各変数のうち、どの変数が嘘の判別にどの程度寄与するかを調べるために判別分析を行った。実験1回目および実験2回目のデータのすべてを標本データとして、被験者および実験の回ごとにそれぞれのデータに対して分析を行い、判別に必要な変数を絞り込むことで、判別に対して寄与の高い変数を調べた。

判別分析におけるグループ分けは「嘘である発話」と「それ以外の発話」の2群とした。以後、「嘘である発話」を「嘘発話」と略称する。「嘘発話」か「それ以外の発話」かは、発話内容と出されているカードから客観的に判断が可能であった。嘘ではないが真実でもない中間的な発話（答えをはぐらかす、あいまいな言い方をする等）も全体の20%～30%ほど見られた。そのような中間的な発話は、言語情報として嘘だと客観的に特定することが困難である。実際、被験者にインタビューしても、「嘘ととられても真実ととられてもかまわないつもりで発話した」という回答が得られた。そこで、中間的な発話は本研究での嘘の定義からはずれると判断し、「それ以外の発話」に分類した。中間的な発話の具体的な例としては、（カードに関する質問に対して）「いやあ、どうだろう。」（勝負するかどうかの質問に対して）「どうしようかな。」といったものがあつた。

2人の被験者のうち片方の被験者（以下、被験者Bとする）は1回目の実験で「嘘発話」を行わなかったため、この被験者の1回目の実験は分析対象から外した。なお、もう一人の被験者を被験者Aとする。

判別に利用される変数を絞り込む方法は以下の通りである。まず、相関係数が0.8以上の組み合わせの変数を探し、マハラノビスの距離を用いた、判別関数の係数の有用性の検定に利用されるF値が低い方の変数を取り除いた。その結果1～5個の変数が取り除かれた。その後、変数減少法を行って、判別率が大きく落ち込む直前まで変数を減らした。これらの手順を行った後に残った変数は、嘘の判別において寄与の高い変数といえる。

実験のビデオから、嘘をついているときの被験者Aの挙動を検討したところ、実験1回目の前半では目を泳が

*1: アクションユニット（AU）とは、FACS（Facial Action Coding System）と呼ばれる表情記述法で用いられる、表情動作の最小単位のこと。AUは全部で44個ある。これらのAUを用いることで人間の表情を全て記述できる。

表2 判別分析の結果

Table 2 Result of discriminant analysis

被験者A					
実験回数	発話数		判別率	変数の数	判別に対する寄与の高い変数（判別式の係数，F値）
1 回目		総発話数： 86 嘘発話： 24 それ以外： 62	嘘発話： 74% それ以外： 82%	4	コミュニケーション情報注視割合（-7.0, 16） 目元よりも口元が早く動いたか（2.2, 9.2） 音声の大きさ（変化）（0.92, 2.1） 音声の高さ（前半）（0.51, 2.1）
	前半	総発話数： 36 嘘発話： 15 それ以外： 21	嘘発話： 79% それ以外： 83%	4	発話相手注視割合（-5.5, 13） 目元よりも口元が早く動いたか（0.93, 1.0） 音声の高さ（変化）（0.47, 0.28） 音声の高さ（前半）（0.27, 0.27）
	後半	総発話数： 50 嘘発話： 9 それ以外： 41	嘘発話： 89% それ以外： 90%	4	目元よりも口元が早く動いたか（5.2, 12） 音声の大きさ（変化）（2.6, 7.2） 音声の高さ（前半）（1.7, 5.6） コミュニケーション情報注視割合（-10, 4.2）
2 回目		総発話数： 126 嘘発話： 14 それ以外： 112	嘘発話： 79% それ以外： 83%	4	コミュニケーション情報注視割合（-4.1, 15） 目元よりも口元が早く動いたか（3.8, 8.3） 音声の高さ（変化）（1.7, 7.3） 音声の速さ（後半）（1.1, 3.7）

被験者B				
実験回数	発話数	判別率	変数の数	判別に対する寄与の高い変数（判別式の係数，F値）
1 回目	総発話数： 48	—	—	—
2 回目	総発話数： 95 嘘発話： 10 それ以外： 85	嘘発話： 80% それ以外： 73%	4	目元よりも口元が早く動いたか（2.0, 5.9） 発話相手注視割合（-5.1, 5.5） 音声の大きさ（変化）（-4.5, 4.6） コミュニケーション情報注視割合（4.3, 4.5）

せたり、何事かを考えながら嘘をついたり、歯切れが悪い調子で言葉をとぎれさせて受け答えをしている事が多かった。逆に実験1回目の後半と2回目においては、そうした挙動はほとんど見られなかった。これらのことから、実験1回目の前半と、実験1回目の後半とでは、判別に寄与の高い変数に大きな差が存在し、実験1回目の後半と2回目には共通性が存在すると推測された。

この仮説を確かめるため、被験者Aの実験1回目を前半と後半に分けて判別分析を行った。さらに、被験者Aの実験1回目の前半と後半の判別分析から作られたそれぞれの判別式を用いて、実験2回目の観測データを未知データとして判別を行った。

3.3.2 結果と考察

判別分析の結果を表2に示す。

表2の見方を例を挙げて説明する。被験者Aの実験1回目を見てみると、3段に分かれており、上から順に、実験全体、実験の前半、実験の後半の観測データをそれぞれ標本データとした判別分析の結果を示している。被験者Aの実験1回目の1段目を見ていく。まず、「発話数」の列では、全体の分析対象となった発話単位の数86

で、そのうち「嘘発話」が24、「それ以外の発話」が62あった事がわかる。次に、「判別率」の列を見ると、分析手順で説明した手順を全て行った後、最終的に判別分析した際に、「嘘発話」を「嘘発話」として判別した割合が74%、「それ以外の発話」を「それ以外の発話」として判別した割合が82%であったことが示されている。

「変数の数」の列を見ると、分析手順で説明した手順を全て行った後に残った変数の数が4個だったことがわかる。「判別に対する寄与の高い変数」の列には、上述の分析手順で説明した手順を全て行った後に残った変数が寄与の高い順に並べられている。これを見ると、最も寄与の高い変数が「コミュニケーション情報注視割合」だったことがわかり、この変数の判別関数の係数は-7.0であったことが示されている。

次に、全体的な結果を見ていく。

最終的に残った判別に対する寄与の高い変数の数を見ると、全て4個まで減っており、それでも75%~85%程度の判別率を維持している。この程度の判別が維持されるということは、嘘の発話を行ったときとそれ以外の発話を行ったときでは、非言語情報に変化があったとい

表3 判別結果

Table 3 Results of the discrimination rate

	嘘発話	それ以外
前半の判別式による判別結果	36%	95%
後半の判別式による判別結果	79%	78%

うことであると考えられる。

さらに判別に対する寄与の高い変数を見ると、実験ごと、被験者ごと、実験の前半と後半という状況ごとで、それぞれ多少異なった変数が選ばれており、同じ変数でも寄与の高さが変化していることが確認できる。このことから、嘘をつくときの非言語情報の表出がコミュニケーション中に変化することが確認された。また、残った変数には、全ての場合において、視線、韻律、表情の変数がそれぞれ必ず一つは含まれている。これは、コミュニケーション中に現れる嘘を判別するには、複数の非言語情報に注目する必要があることを示唆している。

被験者Aの実験1回目の前半と後半を別々に判別分析した結果（表2、被験者A、1回目）、判別率は若干よくなっているように見えるものの、大きな変化ではなかった。また、判別に対する寄与の高い主要な変数に関しても、一見しただけでは実験1回目後半と実験2回目の間に、明確な共通性は見い出せなかった。

そこで、被験者Aの実験1回目の前半と後半の判別分析から作られたそれぞれの判別式を用いて、実験2回目の観測データを未知データとして判別を行った。その結果を表3に示す。1回目の後半の判別式で判別した場合は、「嘘発話」と「それ以外の発話」の両方で高い判別率を維持しているのに対し、1回目の前半の判別式で判別した場合は、「それ以外の発話」の判別率は高いものの「嘘発話」の判別率が大きく落ちていることがわかる。この結果は、状況に応じた非言語情報の表出の変化が、嘘の判別に大きな影響を与えることを示している。また、実験1回目と実験2回目では3ヶ月の期間があいていたにもかかわらず、実験1回目の後半の判別式で実験2回目のデータを判別しても、「嘘発話」および「それ以外の発話」の両方で高い判別率を維持している。このことから、同一被験者で、ゲームの経験やプレイヤ同士の関係性等の状況がある程度同じであれば、期間があいても一定の判別率が維持されることも示唆された。以上のことから、状況がある程度同じであれば、未知の発話に対しても、非言語情報から嘘の判別ができる可能性が示されたと考えよう。

以上により、本研究の目的（2）人間同士の実験によって、表出される様々な非言語情報から嘘を判別する可能性と表出する非言語情報の特徴を調べる、がある程度達成されたものと考えられる。

3.4 議論

ミラーとスティフのまとめ^[9]によれば、人間が他の人

表4 シングルモーダルの変数による判別率

Table 3 The discrimination rate by single modal variables

	視線のみ	韻律のみ	表情のみ
被験者A	嘘発話: 36%	嘘発話: 43%	嘘発話: 39%
1 回目	それ以外: 95%	それ以外: 67%	それ以外: 86%
被験者A	嘘発話: 64%	嘘発話: 85%	嘘発話: 29%
2 回目	それ以外: 80%	それ以外: 60%	それ以外: 94%
被験者B	嘘発話: 20%	嘘発話: 50%	嘘発話: 60%
2 回目	それ以外: 89%	それ以外: 82%	それ以外: 75%

の嘘を判別した場合の正答率は高くても70%程度だと言われている。従って、複数の非言語情報を用いることで、人間の嘘を人間と同程度かそれ以上に判別できる可能性を、表2および表3の結果は示しているといえる。ただし、この程度の判別率を確保するために必要な非言語情報の変数は、数自体は比較的少数でよいが、複数のモダリティに及ぶことも示唆された。

実験のデータを用いて、視線の変数のみ、音声の変数のみ、表情の変数のみで、それぞれ判別分析を行った結果を表4に示す。被験者Aの実験2回目のデータを韻律のみで判別した結果を除いて、「嘘発話」の判別率が低くなっていることがわかる。また、発話全体の判別率は平均すると60~70%程度であり（高いもので、被験者Aの実験2回目の視線のみ 72%、被験者Aの実験2回目の韻律のみ 73%）、全体的に3.3節の結果には及ばない。また、判別率が高かった2例も、判別率に偏りがある。このことから、単一モダリティの情報だけでは判別が困難な場合でも、複数のモダリティを統合的に利用することで判別できることが示唆された。

嘘の判別に関する研究は古くからなされている^{[2],[3]等}。その中には、嘘をついているときに見られる非言語情報を定量的に観察した研究もある^{[15],[16]等}。しかし、嘘に関する研究の多くは、実際のコミュニケーションの場面を実験環境として想定していない。本研究では、アレンジ版インディアンポーカーを用いることで、コミュニケーション中に自発的に嘘をつく状況を作った。これにより、自然な状態で嘘をつくことができた。

また、DePauloらのまとめ^[11]によれば、嘘を判別する手がかりとして考えられる、言語情報および非言語情報の特徴は、150個を超える。しかし、それらの手がかりは、嘘（欺瞞）との間に、単独では弱い関連性しかないといわれている。例えば、伝らはネタバレ・ブラックジャック課題を用いて、コミュニケーション中の自発的な嘘に注目し、瞬目と発話潜時の変化を測定している^[10]。しかし、嘘との関連性は有意傾向を示すに留まっている。本研究では、複数の非言語情報に注目し、嘘の判別に総合的に利用している。その結果、コミュニケーション中において自発的に嘘をつく際の、複数の非言語情報の変化の特徴をある程度明らかにできた。また、人間と

同等かそれ以上の判別率で、嘘を判別できること、および真偽が未知の発話も判別できる可能性も示唆した。

選ばれている変数から具体的に非言語情報にどのような変化があったかを考えてみる。実験1回目の前半では、発話相手注視割合の寄与が他の変数に比べて突出しており、発話相手を見ているか否かでおおざっぱな判別がなされていることがわかる。しかし、実験1回目の後半や実験2回目では、寄与の大きな変数はあるものの、実験1回目ほど突出した変数はない。これらから推測すると、実験1回目の前半では嘘をつく多くの場合で発話相手から目をそらしていたのに対して、後半以降になるとこのような特徴的な行動がなくなり、様々な変数から総合的に判断する必要が出てきたと考えられる。ただし、これらは全て被験者Aに見られた変化であり、一般的な場合に同じ事がいえるかどうかはわからない。

我々が日常的に使用する「嘘」という言葉には「欺瞞」の意味が含まれる。「欺瞞」とは、「欺き手が間違っていると思っている信念や理解を、他者に引き起こそうとする行為」と定義される^[9]。例えばEkman^[20]は、見破られにくい欺瞞の方法として、「嘘のように本当のことを言う」「半分だけ本当のことを言う」「誤った推論を導かせる」という三つをあげた。第1章の「嘘」定義では、内容が真実であるが「欺瞞」である発話（例えば、第3章の「中間的な発話」）は「その他の発話」に分類されるため、欺瞞は本論文の対象外となった。

またColeman & Kay^[21]は、嘘を事実・意図・信念の三つの要素によって分類している。本論文で取り扱った嘘はこの要素のうち、信念に関しては扱っていない。

「欺瞞」や「信念」を扱うには、発話者の意図を発話内容以外から推測する必要があるが、客観的に推測することが困難なため、本論文では扱わなかった。

4. 漏洩する情報を自動取得するためのシステム

言語情報を正確に解釈できても、それだけでは円滑で自然なコミュニケーションは成立しない場合がある。

例えば、家事を行うエージェントが「お風呂を沸かしてよろしいですか」と聞いたとき、人間が「いいよ」と答えたとする。この「いいよ」という言語情報からでは、それが「許可」を表すのか「拒否」を表すのかは決定できない。このような場面で、エージェントが非言語情報に漏洩する情報を読み取り、意図を推測することができない場合、おそらくどのような意図で発話されたのかを聞き返すことになるだろう。このような聞き返しは円滑なコミュニケーションを妨げる。あるいは、聞き返すことができない場面もある。例えば、ある行動を提案したとき、言語情報としては許可を与えたとしても、あまり乗り気ではないという意図を持つ場合が考えられる。このような場面では言語的には明確であり、非言語情報に漏洩する情報から意図を推測しなければ、聞き返

すこと自体が難しい。しかし、言葉通りの意味にとらえたのでは自然なコミュニケーションとはならない。

このような場面における不自然さを低下させるには、冒頭に述べたように、エージェントが人間の非言語情報に漏洩する情報から意図を推測しなくてはならない。そのためには、エージェントが人間の表出する非言語情報を計測しなくてはならず、それは、人間に負担をかけない方法である必要がある。

そこで我々は、注目している非言語情報を非接触で計測するシステムを利用することを考えた。このようなシステムをエージェントに実装し、人間同士のコミュニケーションにおける非言語情報の利用方法の知見をエージェントにも適用することで、漏洩する情報を取得でき、将来的には意図の推測に役立つと考える。

この章では、3章で注目している非言語情報を計測し、嘘を判別するための情報を自動取得するシステムを作成した。そのシステムを用いて3章と同様の実験を行い、漏洩する情報の読み取りに利用できる示唆を得た。

4.1 システムの概要

4.1.1 システムの必要条件

人間とエージェントの自然なコミュニケーションを想定すると、非言語情報の計測システムは少なくとも以下の3点を満たす必要がある。

- 1) 視線方向と表情の変化を計測できること
- 2) 被計測者の自然な行動をできるだけ妨げないこと
- 3) キャリブレーションが簡便であること

1)は、本研究で注目している非言語情報を計測できること、と同義である。音声は画像情報を必要としないため、視線および表情とは独立に計測が可能であり、計測の自由度が高いため計測上の問題は起きにくい。そのため、計測システムとしては別のものとして考えた。本研究で注目している表情の変化は、上瞼と下瞼および口角の変化である。最低限これらを計測できる必要がある。2)は計測すること自体が非言語情報の表出に悪影響を与えることを避けるために必要である。完全に自然な振る舞いを許容する必要はないが、頭部を著しく拘束することは避けるべきである。3)は現実での汎用的な利用と実験の円滑な進行のために必要である。現実での利用においては、各個人へのキャリブレーションに手間がかかりすぎると利用自体が困難になる。また、長時間にわたる実験は、被験者の振る舞いを単調にすることが予備実験からわかっている。しかも、3章で行った実験では複数の被験者を計測した。そのため、実験の準備にかかる時間はできる限り短いことが望ましい。従って、被験者ごとに細かい調整を必要とする計測手法や、複数の計測機器を利用することは避ける必要がある。

既存の計測システムによって、1)と2)を満たせる。しかし、そのためには複数の計測システムを利用する必要があり、3)を満たすことができない。そこでこれらの必

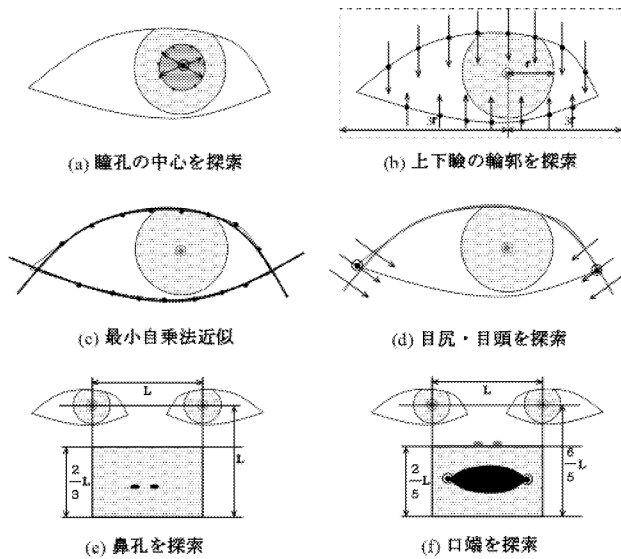


図2 顔の特徴点の探索

Fig. 2 The detection sequence of facial feature points.

要条件を満たした非言語情報の自動計測を行い、嘘を判別するための情報を自動取得するシステムを開発した。

4.1.2 システムの概要

開発したシステムは、ステレオカメラ（SONY FCB-EX480C×2）によって取得した顔画像を処理することで、顔の特徴点の3次元位置を測定し、それらから視線方向を計算するものである。

本システムの処理は、1) 顔トラッキング、2) 顔特徴計測、3) 顔方向計算、4) 視線方向計算、という4つの部分からなる。まず始めに、各カメラが取得した画像から、川戸らの手法により、目の位置を探索する^{[12][13]}。次に、探索された目の位置を基準にして顔の特徴点を探索する。顔の特徴点の探索は図2の(a)から(f)の順番に行く。その後、探索された顔特徴から、顔方向と視線方向を計算する。視線方向計測の精度向上に必要な、計測前のキャリブレーションは、大野ら^[14]のアルゴリズムにより、画面上の最低2点を注視することで行う。

開発したシステムは、顔の特徴点を約2mmの精度で計測できる。また、頭部の回転の計測精度は約1度である。視線方向は3度の精度で計測できる。頭部の自由度は、上下に約5cm、左右に約10cm、前後に約10cm動くことができる。計測の頻度は20[fps]である。

各処理の精度や頭部の自由度に関しては、既存のシステムと同等かそれに及ばない場合がある。しかし、3章の実験に必要な顔の特徴点は計測可能であり、条件1)を満たす。また、計測前の準備が簡便であり、計測システムを一つにまとめたことで、実験環境を柔軟に構成できる。特に、計測前に被計測者ごとに最低限必要となる作業は視線方向のキャリブレーションのみであり、画面上の最低2点を注視することで行うことができる。これらの特徴により、条件2), 3)を満たす。

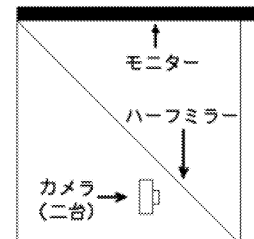
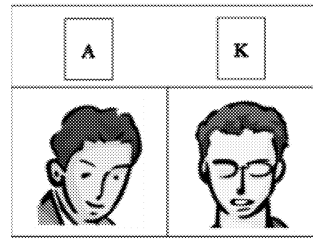
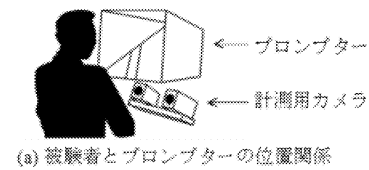


図3 提案するシステムを用いた実験環境

Fig. 3 The setup of the experiment by using system.

4.2 システムを用いた実験

前述のシステムを用いて、2章で説明した実験を、改変した実験を行った。

4.2.1 被験者

2章と同様に、ゲームの被験者3名はお互いに知り合っている大学院生2名と実験者自身であった。

4.2.2 実験環境

2章の実験では現実に顔を合わせている相手と本物のカードを用いてゲームを行ったが、本章の実験ではプロンプタに投影された相手と画面上に表示されたカードでゲームを行ってもらった(図3(b))。プロンプタは、ハーフミラーと複数のカメラを利用して、被験者および実験者同士の視線をあわせることができた(図3(c))。この改変は、非言語情報を自動計測するために行った。頭部は特に拘束していないが、上半身の動きを意識せずに制限するため、被験者は机に肘をついてゲームを行った。分析されるデータが自動計測されたものだという点を除けば、データ分析の方法は3章と同じである。

4.2.3 実験手順

本章の実験は、以下のような手順で進行した。

- 1) 3人の被験者がそれぞれプロンプタの前に座った(図3)。
- 2) アレンジ版インディアンポーカーの戦略に関する簡単なインストラクションを行った。
- 3) 被験者のキャリブレーションを行った。
- 4) 実験者は、ゲームプログラムを用いて、各被験者にカードを配った。
- 5) 各被験者は、相手を降ろさせたり、勝負させたりする駆け引きを自発的に行った。
- 6) 各被験者は、最終的に勝負するか降りるかを決定し、実験者に意志を決定したことを報告した。
- 7) 実験者はゲームの結果を各被験者に表示した。

8)勝敗が決定した後に、点数の配分が自動的に行われた。各被験者は点数の確認を促され、実行した。

9)上記4～8を1回の試行として、これを繰り返した。

試行回数は19回、各試行の平均所要時間は1分20秒、ゲームの平均時間は1分07秒、SDは0.20であった。

4.2.4 結果と考察

定性的に観察したところ、被験者の挙動に大きな違いはないようだったので、分析は全体に対して行った。

結果を表5に示す。

最終的に残った判別に対する寄与の高い変数の数を見ると、5個まで減っており、それでも70%程度の判別率になっていた。3章の結果と比べると、変数は一つ多く、判別率は少ないが、大きな違いはなかった。

さらに判別に対する寄与の高い変数を見ると、3章の表2におけるどの結果とも異なっていた。最も近いのは、被験者Aの前半の結果であった。二つの結果の共通性を考えると、どちらも初めての環境でゲームを行っているということがあげられる。初めての環境でゲームを行う際には、共通の挙動が見られる可能性があるが推測の域を出ない。一方、選ばれている変数は、視線、韻律、表情のすべてが一つは含まれている。これは、複数の非言語情報に注目する必要があることを示唆していた3章の結果と同じである。今回はまだ一例にすぎないが、本章のシステムを用いた実験を進めることで、より一般的な特徴を議論することができると期待される。

実際にエージェントに実装することを考えてみよう。3章で示されたように、同一の個人、同様の状況における非言語情報の表出が長期的に変化しない特徴があるならば、状況に対応した判別関数をあらかじめ導いておき、本章で提案したシステムを実装することで、エージェントが嘘を自動判別できる可能性はあるといえる。

一方、いくつかの課題もある。まず一つめには、状況ごとに非言語情報のパターンの学習（ここでは判別関数の導出）の必要性が示唆されていることである。このことは、状況をどのように判別するかという問題を提起することになった。また、エージェントが自律的に、漏洩する情報から推測される意図に対応する非言語情報のパターンを学習することを考えると、教師例となるデータをどのように集めればよいかという問題もある。これらの問題を解決するには、言語情報の利用など、他の分野の研究が必要である。実際のエージェントへの実装には避けて通れない問題であり、今後の研究が待たれる。

5. 結論

本研究では、「自然なコミュニケーションにおいて、意図を推測する手がかりとなる無意識に漏洩する情報を非言語情報から読み取る方法を解明する」ことを最終目標とした。そのために、隠蔽したつもりでも無意識に漏洩する情報から意図を推測する場合の代表として、嘘に

表5 自動計測したデータによる判別分析の結果

Table 5 Result of discriminant analysis
by the automate measured data

発話数	判別率	変数の数
総発話数： 151 嘘発話： 24 それ以外： 127	嘘発話： 72% それ以外： 69%	5

判別に対する寄与の高い変数（判別式の係数、F値）
目元よりも口元が早く動いたか (1.9, 5.7)
音声の高さ（前半）(2.2, 3.6)
発話相手注視割合 (-2.1, 3.4)
音声の大きさ（前半）(2.3, 2.3)
音声の高さ（変化）(1.1, 2.1)

焦点を当て、人間同士のコミュニケーション中に見られる自然な嘘を観察する実験環境を構築した。そして、この実験環境における人間同士のコミュニケーションの様子から、非言語情報に漏洩する、意図を推測する手がかりとなる情報の特徴を分析した。その結果、個人ごと、状況ごとに、複数のモダリティの非言語情報を利用して弁別することで、漏洩する情報から意図を推測できる可能性を示唆した。これによって、無意識に漏洩する情報を手がかりとして、意図を推測しながら、人間とエージェントの間で、人間同士のように自然なコミュニケーションを行える可能性を示唆したといえる。さらに、嘘の判別には、複数の非言語情報が必要なものの、比較的少数の情報だけで十分なことも示した。これは、リアルタイムな処理を必要とするエージェントへの実装においては有益な知見といえる。また、意図を推測する手がかりとなる、漏洩する情報を計測するシステムを開発し、これを用いた実験を示すことで、言外に示された情報を利用しながら、自然かつ円滑に人間とコミュニケーションするエージェントの実現可能性を示唆できた。

謝辞

本研究は、科学研究費補助金・特定領域研究「情報爆発時代に向けた新しいIT基盤技術の研究」からの助成を受けています。

参考文献

- [1] Burgoon, J.K.: Nonverbal signals; In M.L.Knapp & G.R.Miller (Eds.). *Handbook of interpersonal communication*.2ndEd. Newbury Park,CA.:Sage. (1994).
- [2] Ekman, P.: The Ability to Detect Deceit Generalizes Across Different Types of High-Stake Lies; *Journal of Personality and Social Psychology* 097, Vol. 72, No.6, 1429-1439 (1997).
- [3] Friedman, H.S.: The interactive effects of facial expression of

- emotion and verbal messages on perceptions of affective meaning; *Journal of Experimental Social Psychology*. **15**, 453-469 (1979).
- [4] 林康子: 感動詞「ええ」におけるピッチ曲線と感情認知; 電子情報通信学会技術研究報告, SP, 音声, **Vol. 98 No. 177**, 65-72 (1998).
- [5] Miller, G.R.: Stiff, J.B.: Deceptive communication; Newbury Park, CA:Sage. (1993).
- [6] Hopper, R., Bell, R. A.: Broadening the deception construct; *Quarterly Journal of Speech*, **70**, pp288-302 (1984).
- [7] 中村亨, 小山謙二: 自然な笑いと作り笑いにおける表出の時間差の分析; 電子情報通信学会技術研究報告 **No. HIP2000-1** pp. 1-8 (2000)
- [8] 四倉達夫, 内田英子, 山田寛, 赤松茂, 鉄谷信二, 森島繁生: 高速度カメラを用いた顔面動作の分析および表情合成; 電子情報通信学会技術研究報告. IE, 画像工学, **Vol. 101 No. 300** pp.15-22 (2001)
- [9] Von Raffler-Engel, W.: Aspects of Nonverbal Communication; Lisse : Swets & Zeitlinger (1980).
- [10] 伝康晴. 情報隠蔽時のコミュニケーション行動の分析; 日本認知科学界第22回大会, 412-413 (2005).
- [11] DePaulo, B. M., Lindsay, J. J., Malone, B. E., Muhlenbruck, L., Charlton, K., Cooper, H.: Cues to Deception; *Psychological Bulletin*. vol 129, No. 1, pp 74-118 (2003)
- [12] Kawato, S., Tetsutani, N.: Scale Adaptive Face Detection and Tracking in Real Time with SSR Filter and Support Vector Machine: In Proceedings of ACCV 2004, vol. 1, pp.132-137, (2004).
- [13] Kawato, S., Tetsutani, N.: Detection and Tracking of Eyes for Gaze-camera Control; *Image and Vision Computing*, vol.22, no.12, pp.1031-1038, (2004).
- [14] Ohno, T., Mukawa, N., Yoshikawa, A.: FreeGaze: a gaze tracking system for everyday gaze interaction. In Proceedings of the symposium on ETRA 2002: eye tracking research & applications symposium, pp.125-132, (2002).
- [15] O'Hair, H. D. et al. Prepared lies, spontaneous lies, Machiavellianism, and nonverbal communication. *Human Communication Research*, **7**, pp325-339, (1981).
- [16] Fukuda, K.: Eye blinks: New indices for the detection of deception; *International Journal of Psychophysiology*, **40**, pp239-245, (2000).
- [17] 後藤真孝. 非言語情報を活用した音声インタフェース; 情報処理学会音声言語情報処理研究会研究報告 2004-SLP-52-7, Vol.2004, No.74, pp.41-46 (2004).
- [18] 河野恭之, 屋野武秀, 池田朋男, 知野哲朗, 鈴木薫, 金澤博史: ATMSベースのマルチモーダル入力統合方式を用いたインタフェースエージェントシステム; *人工知能学会誌*, Vol.13, No.2, pp212-220, (1998).
- [19] Zuckerman, M., DePaulo, B. M., Rosenthal, R.: Verbal and

nonverbal communication of deception; In L.Berkowits (Ed.), *Advances in Experimental Social Psychology*, Vol.14, New York: Academic Press. pp1-59, (1981).

[20] Ekman, P.: Telling lies: Clues to deceit in the marketplace, marriage, and politics; New York: Norton., (1985).

[21] Coleman, L. Kay, P.: Prototype Semantics: The English Word Lie; *Language*, Vol.57, No.1, pp.26-44, (1981).

(2006年2月2日受付, 5月22日再受付)

著者紹介

大本 義正 (学生会員)



2003年東京大学大学院総合文化研究科広域科学専攻修士課程修了。現在, 同学術支援研究員。人間と他者のつながりに興味を持ち, マンマシンインタフェース, 人のコミュニケーションなどの研究に従事。日本認知科学会, 各学生会員。

植田 一博 (正会員)



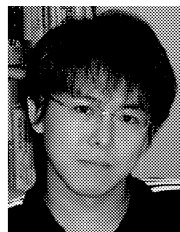
1988年東京大学教養学部卒業。1993年東京大学大学院総合文化研究科博士課程修了。博士 (学術)。東京大学大学院総合文化研究科助手を経て, 1999年より同助教授 (2000年4月~2004年3月同大学情報学環助教授)。科学的発見プロセスの解明, 熟達化メカニズムの認知神経科学的解明, 人工市場ならびに行動ファイナンス, ヒューマン・エージェント・インタラクションなどの研究に従事。日本認知科学会, 人工知能学会, The Cognitive Science Society, AAAI各会員。

大野 健彦



昭和44年生。平成6年東京工業大学大学院理工学研究科情報科学専攻修士課程修了。同年日本電信電話 (株) 入社。現在NTT 第二部門所属。視線インタフェース, 視線測定法, 視線に基づく認知モデルの構築, コミュニケーションの解明などの研究に従事。ACM, 情報処理学会各会員

小松 孝徳 (正会員)



1974年生。2003年東京大学大学院総合文化研究科博士課程修了。同年, 公立はこだて未来大学システム情報科学部助手。人間の認知的特性を利用しながらその適応を誘発することで, 人間=人工物間に自然なコミュニケーションを構築するを目指している。情報処理学会, 日本認知科学会, 人工知能学会, IEEEなどの会員。博士 (学術)。