

報告番号	※甲	第	号
------	----	---	---

## 主 論 文 の 要 旨

論文題目 時系列画像に基づく動的事象の推測に関する研究

氏 名 大塚 和弘

## 論 文 内 容 の 要 旨

コンピュータビジョンは、人間などの生物がもつ視覚機能を人工的に実現することを目指す学問分野である。コンピュータビジョンの中でも特に動的な事象を観測対象とする領域のことを時系列画像解析と呼ぶ。時系列画像解析では、時々刻々と観測される2次元画像の集合を入力とし、その画像集合から、そこに映っている3次元世界中の対象の状態やその時間変化に関する推測が行われる。しかし、観測情報である2次元画像は、3次元世界を2次元平面へ射影して得られる縮退された情報であり、その観測情報から対象とする事象の状態を一意に決定することは必ずしも容易ではない。本論文では、この時系列画像に基づく推測の困難性を、観測の部分性と間接性という2つの側面から捉え、それらに対処可能な時系列画像解析の新しいアプローチを提案する。ここで観測の部分性とは、複数の対象間のオクルージョン（隠れとも呼ぶ）や観測範囲の制限によって生じる観測情報の欠落のことを指し、観測の間接性とは、観測情報と推測対象の状態との間の質的な乖離のことを指す。本論文では、観測の部分性、間接性の度合いの組み合わせに応じて、以下に述べる3つの問題を取り上げる。

まず、観測の部分性が顕著な例として、複数の物体の間に生じるオクルージョンに着目する。オクルージョンとは、カメラに対して、手前の物体が後方の物体を遮蔽する現象であり、時系列画像解析を妨げる主要因として知られている。オクルージョンが生じる場合、遮蔽された領域に関する観測情報が得られないという問題が生じる。また、画像上で複数の物体のオーバーラップが生じ、観測情報の解釈が困難になるという問題も生じる。本論文では、多視点観測による複数物体の追跡（トラッキングとも呼ぶ）を課題として取り上げる。この課題に対して本研究では、物体間のオクルージョンに対して頑健な追跡を実現するために、物体間のオクルージョンを含めた観測過程を陽にモデル化し、オクルージョンの構造と物体の状態

(位置や姿勢)を同時に推定するという方法を提案する。この方法では、各々の視点からどの物体が見えていて、どの物体が隠れているかというオクルージョンの空間構造が陽に記述され、物体追跡の問題は、このオクルージョンの空間構造についての多重仮説の生成・検証、及び、物体の状態の事後確率分布の推定という2つの問題からなる再帰的ベイズ推定法として定式化される。この方法は、オクルージョンに起因する物体の配置や状態の不確定性を推定することができるため、多様にオクルージョンが変化する状況においても、安定した物体追跡を行うことができる。人工データ、及び、実データを用いた実験を行い、その結果、一時的に全ての視点においてオクルージョンが発生している状況においても、頑健に追跡が継続できることを確認する。

次に、観測の間接性が顕著である例として、事象を構成する複数の要素間の相互作用に着目する。その中でも本論文では、視覚的に直接観測はできないが、相互作用が事象のダイナミクスに対して決定的な影響をもつ事例として、複数人物の対面会話シーンを取り上げる。対面会話シーンにおいては、各人物の行動は時系列画像として比較的容易に観測できるものの、それら行動を支配するダイナミクスは、人物間の相互作用（インタラクションとも呼ぶ）に依存し、非常に複雑である。本論文では、会話中の人物間の相互作用について陽にモデル化を行い、各人物の行動から人物間の相互作用の状態を推定する新しい方法を提案する。具体的には、相互作用として、話し掛け、及び、傾聴に着目し、誰が誰に話し掛けているか？誰が誰の話を聞いているか？という人物間でのメッセージの流れのパターンを推測の対象とする。本研究では、これを会話構造と呼ぶ。また、この推測の手掛かりとして、会話参加者の非言語行動に着目し、会話構造と非言語行動との関連性を動的ベイジアンネットワークを用いてモデル化する。ここでは非言語行動として、発話の状態（発話の有無）と、対面会話において重要な役割をもつことが知られている視線を用いる。ただし、会話中の視線方向を直接的に計測することは困難であるため、代わりに頭部方向を計測対象とし、センサや画像上での頭部追跡によって計測された頭部方向から視線方向の推測を行う。本論文では、頭部方向と発話の有無の時系列データから、会話構造、視線方向、及び、モデルパラメータを同時に推定する方法として、ギブスサンプリングと呼ばれる一種のマルコフ連鎖モンテカルロ法を用いる方法を提案する。最後に、4人会話を対象とした実験により、会話構造と視線方向の推定精度を評価し、提案法の有効性を確認する。

さらに、観測の部分性と間接性がともに顕著な事例として、時系列画像パターンとして観測される自然現象の予測の問題を取り上げる。本研究では、自然現象の中でも気象現象、その中でも特に降水現象に着目し、その観測手段として気象レーダを用いる。気象レーダは、降水強度の空間分布を画像パターンとして観測する装置である。これを用いることで、降水の空間分布の予測を行う問題は、気象レーダ

画像上のパターンの時間変化を予測する問題として捉えることができる。しかし、このパターンは、非剛体の不定形パターンであり、様々な気象的要因が重なり合った複雑なダイナミクスを持つため、その予測は容易でない。気象レーダによる観測は、パターンの元となる降水現象の空間的な広がりに対して、気象レーダから一定範囲内、かつ、ある空間断面上に限定された観測であり、降水現象の全容を捉えることができない。その観点から観測には部分性が伴うといえる。また、気象レーダでは、気温、気圧、風速といった気象現象の内部状態を直接的に観測することができず、さらに、現時点の観測情報から未来のパターンを予測するという問題の性質からも、観測には間接性が伴うと考えられる。これらの観点より、気象レーダ画像上のパターンの予測の問題は、観測の部分性、間接性がともに顕著な事例といえる。本論文では、このような複雑な時系列画像パターンの予測の方法として、過去の画像パターンの記憶に基づく予測法を提案する。これは、現在の画像系列に類似する過去の画像系列をデータベースより検索し、検索された画像中のパターンの時間発展に基づいて予測画像を生成するという方法である。この方法の要素技術として、本論文では、時系列の気象レーダ画像より抽出された画像特徴に基づいて類似画像系列を検索する方法、及び、検索された画像系列の未来の画像を合成することで予測画像を生成する方法を提案する。北海道の約6冬期分のデータセットを用いた実験を行い、予測先行時間、データ量の観点から予測精度を評価し、提案方法の有効性を確認する。

以上のように、本論文では、従来の時系列画像解析において未だ解決法が確立されていない観測の部分性、間接性の問題に対する新しいアプローチを提案する。具体的には、未解決課題の中でも特に重要な事例として、オクルージョンに頑健な物体追跡、複数人物の対面会話シーンの分析、気象レーダ画像パターンの予測の3つを対象とし、それぞれ、観測過程のモデル化、相互作用のモデル化、記憶に基づくモデル化というアプローチを提案する。これら3つの事例について提案される具体的な方法は、個別の問題設定に特化したものであるが、その根幹となるアプローチは幅広い事象に適用できるものであり、今後、時系列画像解析分野の発展に資することが期待される。