Three Intelligent Systems for Supporting Advanced Technology - Multi-agent, Image Recognition, and Machine Learning

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2017-10-05 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/2297/45387

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 International License.



学　位　論　文　要　旨

学位論文題名

先端技術を支える３つの知的システムの開発　　－ マルチエージェント、画像認識、機械学習 －

（英訳）

Three Intelligent Systems for Supporting Advanced Technology

－ Multi-agent, Image Recognition, and Machine Learning －

所属

金沢大学大学院　自然科学研究科　電子情報科学専攻

氏名

新田　雅道

Abstract

Current artificial intelligence research focuses on the fields of genetic algorithms, voice recognition, image recognition, machine learning, natural language processing, data mining and multi-agent systems. Generally, these fields are not considered as a part of artificial intelligence, but they actually are, and they provide convenience and comfort for our lifestyles. The term 'Artificial Intelligence' might evoke an image of some special research field; however, its research accomplishments are already prevalent in society.

Although I am interested in all of these fields, I started with the field of multi-agent systems, since I am fond of trial and error experimentation. A multi-agent system is a simulation of phenomena created through the interaction of agents that constitute an artificial society.

Next, I studied image recognition. I had some basic knowledge regarding CG, and I was intrigued by the construction of image recognition systems, which are applications of CG.

Finally, I selected machine learning as my research topic. Machine learning is related to most of the research fields of artificial intelligence; therefore, it is impossible to discuss artificial intelligence without studying the field.

It was found that these fields can be combined according to the subject, and they are regarded as sub systems that form the artificial intelligence system. I was able to deepen my understanding with regard to the practicability of intelligence systems that support advanced technology created using artificial intelligence.

1　はじめに

今日の人工知能の研究分野は，遺伝アルゴリズム，音声認識，画像認識，機械学習，自然言語処理，データマイニング，マルチエージェントなどが中心である。人工知能という言葉は未だに特殊な研究分野だと思われているが，実はかなりの分野が社会に浸透している。

人工知能に関する分野はいずれも興味があったが，まずマルチエージェントの研究に取りかかった。マルチエージェントは，複数のエージェントで構成された人工社会を形成し，エージェントの相互作用によってどのような現象が起こるのかをシミュレーションするシステムである。

次に取りかかったのが，画像認識である。ＣＧについては，ある程度の基礎知識はあったので，その応用である画像認識システムの構築にも興味を持つことができた。

そして最後に，人工知能の研究分野のほとんどに関わる機械学習を研究テーマに挙げた。機械学習なくして，人工知能を語ることはできないからである。

これらの分野を研究対象とすることによって，現在の人工知能を使った先端技術を支える知的システムの実用性について，理解を深めることができた。

2　３つの知的システムの開発

2.1　スーパーマーケットにおける避難シミュレーションに関する基礎的検討

2.1.1　概要

日本では毎年1,000件以上の地震が発生している。地震が発生すると，建物の倒壊に巻き込まれたり，避難途中で人々の密集に巻き込まれたりして死傷するといった人的被害が発生する[1]。

地震発生時を想定した避難訓練は，一時的に施設を封鎖しなければならず，避難訓練のために多くの人員も必要である。このため，シミュレータを用いるのが一般的である。

本研究が対象とする，スーパーマーケットは，買い物かごやショッピングカート（以下「可動障害物」）が利用されている。そこで，可動障害物があった場合に安全に避難できるまでの時間や将棋倒しが発生する状況などについて検証した。

スーパーマーケットにおける避難シミュレーションでは，自律性に基づいた行動を重視したため，近傍への依存性がないマルチエージェントシミュレーションを用いることにした。

マルチエージェントシミュレーションではステップと呼ばれる時間の単位を扱っている。シミュレータは1ステップごとに計算を行い，避難者の動きの処理を行う。

避難の様子を再現するにあたり，あらかじめシミュレータ上の店内売場に避難者を表すエージェント（以下「避難者」）を配置しておく。その後，避難者は配置された場所から出口に向かって避難するという流れでシミュレーションを行った。

スーパーマーケットには可動障害物があり，これらは避難の妨げとなるが，移動することは容易である。地震により陳列されている商品などが落下し障害物となる可能性があるが，本研究は基礎研究であるため，このことについては考慮しないものとした。

店内売場 MAP として，避難者や可動障害物，商品棚，壁などを配置し，人々の避難の様子を再現するためのフィールドを設定した。店内売場は 1 辺 50cm の正方形からなるセルに分割し，そのセル上に壁や商品棚などを配置している。

本研究で扱う避難者は，前後左右の 4 方向に移動（斜め方向の移動は考慮せず）することができる。移動方向の決め方として，避難者は今いるセルに格納されている距離値と周囲 4 方向に存在するセルに格納されている距離値を比較し，距離値が最小となるセルが存在する方向を移動方向とする。

人々が密集すると将棋倒しが起こる可能性がある。一般的に，将棋倒しは人口密度が 3～5 人／m^2 程度で発生するといわれている[2]。そこで本研究では，避難者が 2×2 セルに集まったときに将棋倒しが起こると定義し，将棋倒しが起こる回数も安全性の評価の対象とする。

2.1.2 実験

可動障害物の割合の違いが，避難者にどのような影響を及ぼすのか検証する。実験では避難者の人数と可動障害物の人数に対する割合を変化させ，シミュレータを動作させる。全員の避難が完了した後，避難完了時間と将棋倒しが起こる回数を取得する。

本研究で扱っている店舗の POS データを解析したところ，1 分間の平均来店人数は，繁忙時は 15 人，閑散時は 3 人であった。また，一般的に，顧客がスーパーマーケットで買い物に費やす時間は平均約 20 分といわれている[3]。このことから，繁忙時には

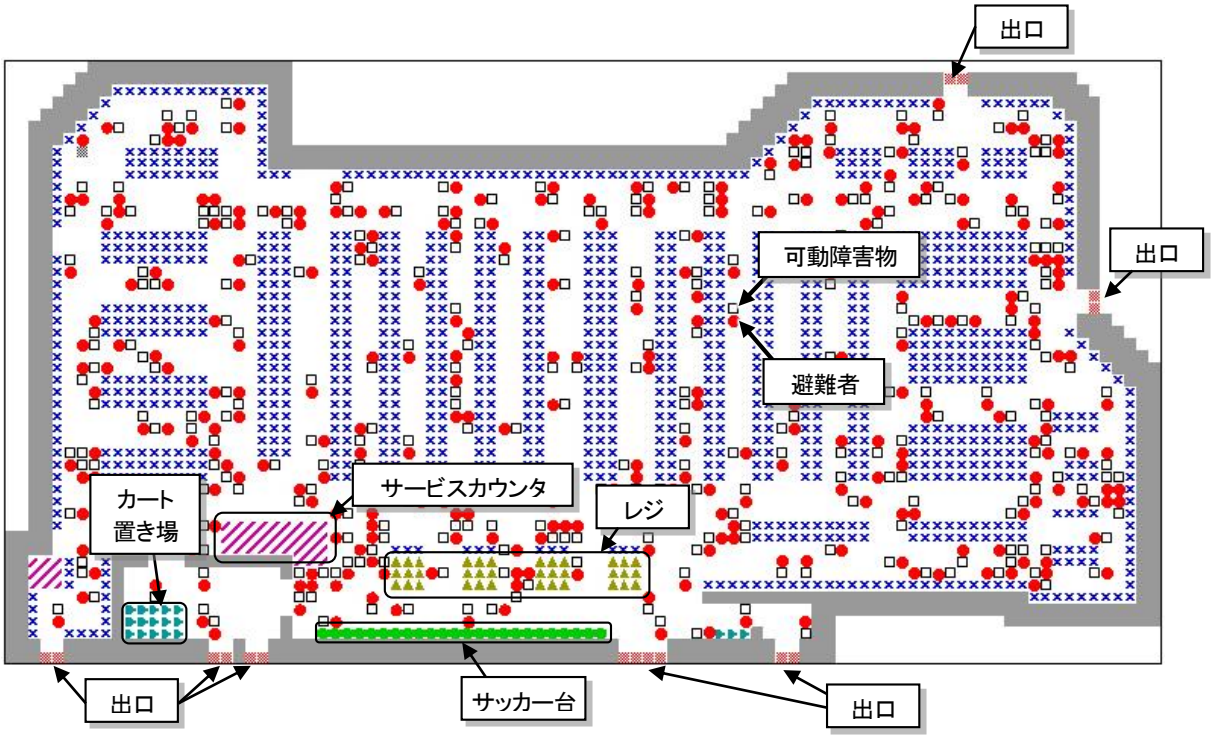


図 2.1.1　人数 300 人，可動障害物 100%のときの売り場ＭＡＰの初期配置

300 人，閑散時には 60 人がスーパーマーケットの店内に滞在していると考えられる。本実験では，避難者の人数について 50 人から 300 人まで 50 人間隔で実験を行うことにした。また可動障害物の割合の違いにより，避難者にどのような影響を及ぼすのかを検証するため, 可動障害物の割合は人数に対して 0%から 100%まで，10%間隔の 11 通りで実験を行うことにした。

例として人数 300 人，障害物 100%の初期配置を図 2.1.1 に示す。

シミュレーションを実行して得られた結果について，避難完了時間（ステップ数）の比較を図 2.1.2, 避難完了までに将棋倒しが起こる回数の比較を図 2.1.3 に示す。

2.1.3　考察

図 2.1.2 のように，可動障害物の割合が増加すると，それが避難の妨げとなるため，避難完了時間が増加する傾向がみられる。避難者は可動障害物をよけて避難するか，自分自身の避難の妨げとならない方向に移動させて避難しなければならないため，障害物が存在しないときと比べ，避難に時間がかかることになる。避難者の人数が少ないときは，可動障害物の割合に関わらず避難完了時間はほぼ一定であった。よって，避難者の人数が少ないときは，可動障害物が避難者に及ぼす影響は小さいと考えられる。

また，可動障害物の割合が増加するにつれて，将棋倒しが起こる平均回数は減少する傾向がみられた（図 2.1.3)。この理由として，可動障害物が少ないときはスムーズに避難することができるため，多くの避難者が短時間で出口付近まで到達することができる。しかし出口から屋外へ避難できる人数は限られているため，出口付近に避難者が密集し，将棋倒しが起こりやすくなる。一方，可動障害物が多いときは，避難者は可動障害物を考慮して避難しなければならならず, スムーズに避難することができない。このため出口付近では避難者はそれほど密集せず, 将棋倒しが起こりにくいと考えられる。

2.1.4　まとめ

本研究ではスーパーマーケットを対象に，避難者が店内から屋外へと避難する様子を再現する避難シミュレーションを行った。そのパラメータとして，買い物かごやショッピングカートといった可動障害物を与え，それらが避難時に及ぼす影響について調査した。その結果，可動障害物が少ないと避難完了にかかる時間は短くなるが，将棋倒しが起こる可能性が高くなることがわかった。特に，非常口付近で将棋倒しが多く発生することがわかった。

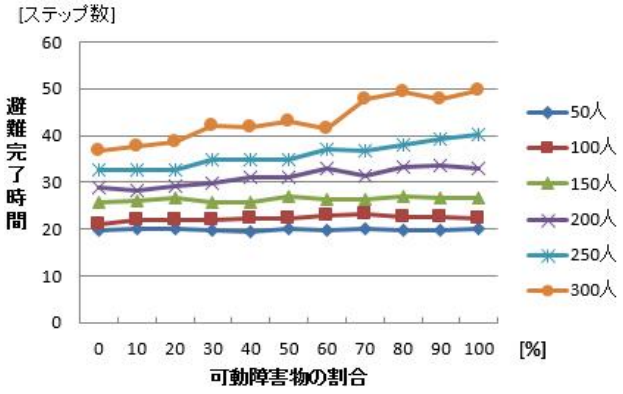


図 2.1.2　避難完了時間の比較

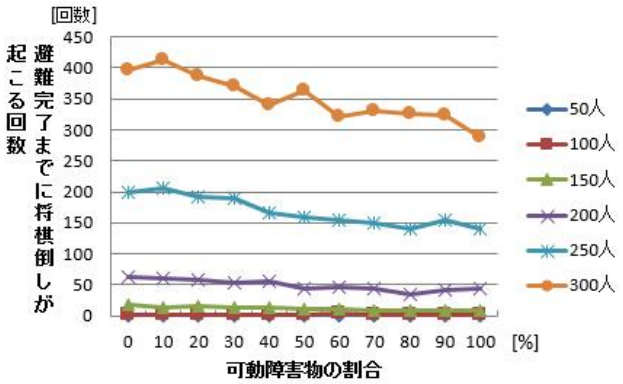


図 2.1.3　避難完了までに将棋倒しが起こる回数の比較

将棋倒しが発生すると，被害が拡大する恐れがある。このため，非常口付近は，人がスムーズに流れやすくする導線を確保する必要があろう。たとえば，非常口に向かって漏斗状に通路を作るとか，ひとつの非常口に殺到しないように，複数の非常口への誘導灯が点灯する仕組みを提案する。

2.2　自動二輪車における山道カーブ安全走行システムの開発

2.2.1　概要

自動車に対する安全システムとして, エアバッグ, ＡＢＳ，衝突被害軽減ブレーキなどが開発されている。しかし，自動二輪車については，その機構上安

全システムの搭載が難しい。

自動二輪車の運転が危険な要因として，自動車に比べて安定性が低いこと，車体が小さいこと，自動車の死角に入りやすいことなどが挙げられる。また，直線道路とカーブでは，カーブのほうが事故が多い[4]。そこで本研究では，車体の安定性の低さに着目し，山道カーブでの制御ミスによる転倒を防止するために，デジタルカメラを用いてカーブの危険状況を推定するシステムの開発研究を行った。

本研究では，デジタルカメラとスマートフォンという，近年では誰でも持っている機器構成とすることで，手軽にリアルタイムな情報提供ができるシステム開発を目指した。

2.2.2 提案システム

カメラで取得した静止画像をもとにカーブの曲率半径 R^*を求め，これと自動二輪車の走行速度から理想のバンク角を導く。またスマートフォンのアプリから，走行中の自動二輪車の速度とバンク角を求め，カーブの曲率半径 R を計算する。そして R^*と R から危険状況を定量的に表わす数値を求め，理想のバンク角と危険状況値をライダーに提示する。これにより，安全な運転をするための情報を示すことができる。

本研究で対象とする山道カーブは，提案システムを簡素化するために片側一車線のカーブとし，走行中のライダーに次の情報を提示する機能を搭載することにした。

【提案機能】

(a) 理想のバンク角 θ（自動二輪車の傾き角）を提示。

(b) 危険状況 S（内側に回りすぎて転倒しやすい。大きく回りすぎて外側のガードレールにぶつかりやすい。安全走行である。）を定量的に提示。

2.2.2.1 機能(a)の実現方法

① 自動二輪車の先端に取り付けたデジタルカメラで撮影した動画像から静止画を取得。

② 画像処理によって，道路の中心線として，左右の境界線を表す関数の中点の関数を求める。

③ ②の関数から，解析的に曲率半径 R^*を推定。

④ 自動二輪車の走行速度 v を(2.2.1)式に代入して，バンク角 θ を求める。

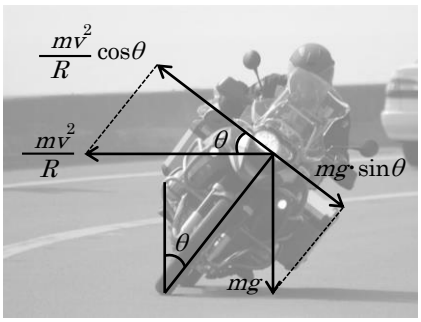


図 2.2.1 カーブにおける力の釣り合い

$$\tan\theta = \frac{v^2}{g \cdot R^*} \tag{2.2.1}$$

ただしg：重力加速度，$R^* \neq 0$ のとき

2.2.2.2 機能(b)の実現方法

カーブにさしかかったときに，自動二輪車の先端に取り付けたスマートフォンのアプリ（Diablo Super Biker）により，走行速度 v とバンク角 θ を求め，それらを次式に代入して，カーブの曲率半径 R を求める。ただし，この計算は，自動二輪車が地面に対して垂直のとき（ $\theta = 0^\circ$ ）のときは行わない。

$$R = \frac{v^2}{g \cdot \tan\theta} \tag{2.2.2}$$

ただし $0^\circ < \theta < 90^\circ$

デジタルカメラから取得した静止画像をもとに得られたカーブの曲率半径 R^*と，スマートフォンのアプリから取得したカーブの曲率半径 R を使って，危険状況値 S を求める。ただし，この計算は，自動二輪車が直進のとき（$R = 0$）のときは行わない。

$$S = \frac{R^2 - R}{R} \tag{2.2.3}$$

求めた S の値によって，走行中の状態を次のように表すことができる。

- S が 0 に近づく程，安全走行であることを表す。
- S が負となり，その絶対値が大きくなる程，内側に回りすぎて転倒しやすいことを表す。
- S が正となり，大きくなる程，大きく回りすぎて外側のガードレールにぶつかりやすいことを表す。

2.2.2.3 カーブ検出手法

カメラは自動二輪車に水平に取り付けられ，自動二輪車と道路平面は垂直になっていると仮定する。

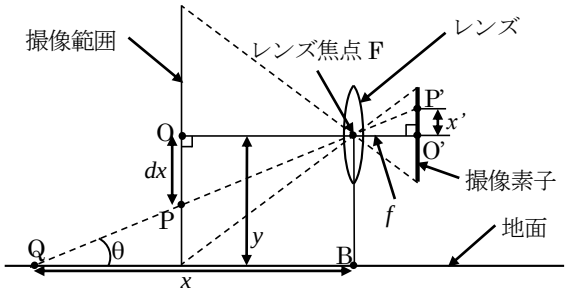


図 2.2.2　垂直方向の撮像範囲

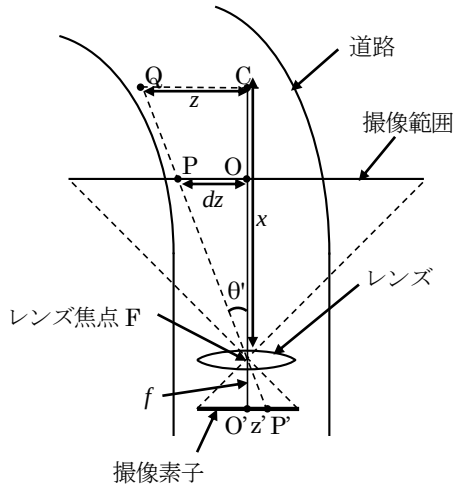


図 2.2.3　水平方向の撮像範囲

次に，図 2.2.2 に示すように画像（撮像範囲）上の点 P を用いて，カメラから実際の位置 Q までの奥行き方向の距離 *x* を求める。

$$x = \left(\frac{y}{\tan(\theta)}\right) \qquad (2.2.4)$$

また，図 2.2.3 より点 P の画像の中心 O から水平方向のずれを *dz*，点 P'の撮像素子の中心 O'からの水平方向のずれを *z*'とすると，(2.2.5)式を得る。

$$z' = \frac{w}{2} \cdot dz \cdot \frac{2}{h} \qquad (2.2.5)$$

よって，∠P'FO'=∠QFC= θ'とすると，実際の水平方向のずれ *z* は,

$$z = x \cdot tan(\theta') \qquad (2.2.6)$$

と求めることができる。

次に，中心線の近似式から曲率半径を求める。近似式をカメラからの奥行き方向の距離 *t* を用いて *f*(*t*) と表すと，曲率半径 *r*(*t*)は,

$$r(t) = \frac{\left(1.0+f'(t)^2\right)^{3/2}}{f''(t)} \qquad (2.2.7)$$

で求められる。

2.2.3　実験・検証

カーブ半径を求めるために使用した機器について次に示す。

- 自動二輪車 : HONDA ホーネット 250cc
  カメラ取り付け高さ y=1.05m
- カメラ : FUJIFILM FINEPIX REAL 3D W3
  焦点距離 f=6.3mm,
  撮像素子サイズ h=5.9mm, w=4.4mm
- スマートフォン: Apple iPhone 4s
- スマートフォンアプリ : Diablo Super Biker

2.2.3.1　２種類の実験による検証

［実験１］

(2.2.2)式から算出されるカーブの曲率半径の精度を実験により求める。まず半径 10m の円軌道を作成し，その円周上を自動二輪車で走行する。このとき，スマートフォンアプリの Diablo Super Biker を用いて走行速度とバンク角を計測し，(2.2.2)式に代入してカーブの曲率半径を求める。

（結果）

計測した走行速度とバンク角に対する推定したカーブの曲率半径を表 2.2.1 に示す。この曲率半径の平均値は 9.90m であり，誤差が 1%であることが判った。このことから，(2.2.2)式で算出されるカーブの曲率半径は 99%の精度で正解データとして扱えることが判る。

［実験２］

機能(a)の実現で示した手続きにより，実際の山道カーブの画像からカーブの曲率半径 *R**を求める。ま

表 2.2.1　カーブの曲率半径の推定

速度(km/h)	速度(m/s)	バンク角(deg)	曲率半径(m)
20.67	5.74	21.17	8.69
20.45	5.68	20.54	8.79
20.89	5.80	19.09	9.93
20.10	5.58	18.72	9.39
20.38	5.66	19.22	9.38
19.77	5.49	18.36	9.27
19.20	5.33	16.73	9.66
20.37	5.66	17.39	10.43
21.50	5.97	20.42	9.76
22.05	6.13	21.79	9.58
22.23	6.18	20.85	10.22
20.51	5.70	19.40	9.41
20.88	5.80	19.13	9.90
22.56	6.27	20.20	10.89
23.06	6.41	21.20	10.79
23.73	6.59	19.86	12.27

た，その精度を示すために(2.2.2)式で示した R を正解値と見なして比較する。

（結果）

撮影した走行動画から３箇所のカーブ動画を抽出した。それぞれのカーブ動画に対して，提案手法を用いてカーブの検出と曲率半径の推定を行った。また，正解となるカーブの曲率半径は，カーブを通過している際のバイクのバンク角と速度から求めた。

表 2.2.2 に 3 箇所のカーブの曲率半径に対する正解値と予測値を示した。負の値は左カーブを表わし，正の値は右カーブを表わす。予測値にばらつきがあるのは，誤差のせいもあるが，山道のカーブは必ずしも奇麗な弧を描いている訳ではなく，また両端の木々等の影響を受けることがあるためである。

曲率半径の予測値を x_i (1≦i≦N　N はカーブ検出回数)とする。このとき，平均二乗誤差 E_rms は，

$$E_{rms} = \sqrt{\sum \frac{(r-x_i)^2}{N}} \qquad (2.2.8)$$

となる。ここで，r は正解の曲率半径である。

カーブの曲率半径が大きくなると誤差も大きくなる傾向がある。これは，曲率半径の大きいカーブは比較的見通しがよく，進入する速度も速いことが多いため，カメラ上の点を実際の距離に変換する際の誤差が大きくなり，予測誤差も大きくなったと考えられる。また，実際にバイクの傾きと速度から曲率半径を計測した位置と検出したカーブの位置のずれの影響も大きいと考えられる。

表 2.2.2　カーブの曲率半径に対する正解値と予測

カーブ番号	1	2	3
正解値	-56	-54	68
予測値	-48.1	-56.9	91.2
	-91.3	-39.5	142.2
	-41.6	-39.5	142.2
	-87.0	-47.9	110.5
	-59.7	-52.3	42.6
	-59.7	-43.5	89.0
	-55.9	-87.0	33.8
	-58.8	-60.0	36.6
		-60.0	36.6
		-75.2	40.0
			50.2
			54.8
			69.0
			88.8

2.2.4　まとめ

本論文では，自動二輪車における山道カーブでの安全走行のためのシステム開発を提案した。今後の課題としては，以下のことがらが考えられる。

① 画像によるカーブの曲率半径の予測では，カメラの取り付け位置や角度，また山道の傾斜角度の影響を受けやすく補正が必要である。将来的には，位置情報から，カーナビの地図情報や航空写真を取り出して，曲率半径を求めるべきである。

② 山道のカーブでは，山の地形等の関係で，曲率半径が一定とは限らない。このような場合，曲率半径が最小となる最も危険度の高いケースを提示することは安全性の観点から最も重要である。

③ (2.2.2)式で算出されるカーブの曲率半径の精度が，まだ十分ではないので考慮する因子を検討する必要がある。

本システムは，身近なデジタルカメラとスマートフォン，そして安価なスマートフォンアプリを利用したが，その性能の信頼性については，さらなる研究と検証が必要と考えている。

2.3　機械学習を用いた映像内に現れるお辞儀動作の認識システム

2.3.1　概要

お辞儀は世界各地に見られ，その多くは，挨拶，お礼，謝罪の行為である。日本のように頭を深く下げるお辞儀は，欧米ではあまり見かけない。

このように，お辞儀は民族，性別などによってその作法が異なり，お辞儀が表す意味も違うため，適切な場所で適切なお辞儀をすることは，円滑なコミュニケーションを取る上で重要である。特に日本では，会釈，敬礼，最敬礼という３種類のお辞儀がある。お辞儀の仕方が不適切な場合，相手の感情を損ねることにもなりかねず，ビジネスマナー講座では必須の修得項目となっている[5]。また，お辞儀の深さ，頻度，丁寧さなどから，対話している両者の上下関係を推測することもできる。

このようにお辞儀のシーンからこれらの状況の推測が可能である。本論文では，以上のような情報を認識するための基礎研究として，３種類のお辞儀と，

お辞儀でない動作を判別するための基本システムを開発した。

2.3.2　お辞儀の定義

本研究では，次の３種類を日本におけるお辞儀として定義した。

(a) 会釈

相手の目を見つめることなく頭を軽く下げ，のちにゆっくりと上げるというのが基本である。上下関係がある場合は，目下の者がする敬礼に対して，これを受ける目上の者から応答のために行なわれる。

上体の屈曲角度は，約 15 度とする。

(b) 敬礼

最も頻繁に使われるお辞儀で，客を迎えるときや訪問先などで使用する。上体は約 30 度に屈曲する。顔を上げたまま行わないように注意する。

(c) 最敬礼

お詫びのときや，深い感謝の気持ちを表すときに使う。頭だけを下げたりせず，背筋を伸ばして，腰から身体を曲げる。上体の屈曲角度は 45 度を目安とする。

2.3.3　提案手法

お辞儀は日本では，挨拶や敬意を表す行為で，相手に対して上体を曲げる動作をする。お辞儀をされた方は，上体の変化を読み取って，お辞儀を受けたと判断する。よって，カメラも被験者の正面に設置すべきだが，お辞儀の種類は，上体の角度が重要であるため，カメラは被験者の側面に設置し，以下の過程でお辞儀を認識した。

関心領域（Region of interest：以下 ROI）は図 2.3.1 に示す四方となる。本研究ではお辞儀の屈曲を『上体を曲げ終えた状態』と定義し，ROI の範囲を指定してノイズを除去する。

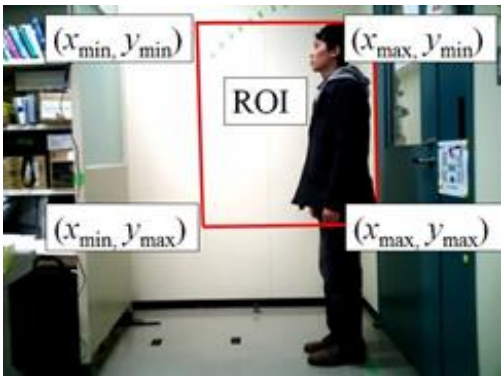


図 2.3.1　ROI の範囲

前処理として，フィルタを使って画像の先鋭化とノイズ除去を行い，お辞儀の輪郭を抽出するため，グレースケール化をする。次に，バイラテラルフィルタを用いて画像の平滑化を行う。最後に，適応ヒストグラム均等化を行い，画像のコントラストを強調する。

お辞儀の動きを抽出するために，勾配法を用いてオプティカルフローを求める。オプティカルフローを求めるアルゴリズムは, Farneback 法[6]を用いる。お辞儀の動きは, オプティカルフローを時間積分し，求める（(2.3.1)式）。

$$b_{xy} = \int_0^T v_{xy}(t)dt \qquad (2.3.1)$$

$v_{xy}(t)$ は，時刻 t における画素 $I(x, y)$ におけるオプティカルフローである。

次に，機械学習アルゴリズムを用いて，お辞儀の種類を識別する。説明変数は，オプティカルフローで抽出したお辞儀の動きを用いた場合と，屈曲時のグレースケール値を用いた場合の 2 通りを試した。また，目的変数は，お辞儀の種類とお辞儀以外の動作である。各画素のオプティカルフローを説明変数として入力し，お辞儀のパターンを目的変数として出力した。機械学習アルゴリズムが推定した動作が真の動作（入力データに対する目的変数）と同一であれば正解とした。機械学習アルゴリズムには，変数重要度が算出できる RandomForest[7]を用いる。

2.3.4　実験

被験者の側面から Web カメラで動作を撮影する。被験者と Web カメラの距離は 2.7m とし，Web カメラの高さは 0.95m とした。被験者は，線にかかとをつけるよう立ち，線の中心が身体の中心となるよう立つ。

被験者は，20 代男性 10 名で，お辞儀についての指導を受けた経験がない，つまり，お辞儀については素人である。実験は，被験者にシチュエーションを指定し，各動作を 10 回ずつ行った。

検証方法として，屈曲時の画像から抽出したグレ

ースケール値で各動作を識別した場合とお辞儀の動きで各動作を識別した場合を比較した。これを検証１とする。次に，全被験者の動作を学習し，未知の被験者の動作を識別した結果と被験者ごとに各動作を学習し，各被験者の各動作を識別した場合を比較した。これを検証２とする，これらの検証結果から，被験者が，どのお辞儀をしたかを識別する。

［検証1］

屈曲時の画像を用いた識別は，お辞儀する際の過程の動きを考慮していない。検証１を行うことで，お辞儀の識別にお辞儀する際の過程が重要であることを示すことができる。

［検証2］

全被験者の動作を学習した場合，服の違いを考慮せず，お辞儀の個人差も考慮していない。検証２を行うことで，服の違いが各動作の識別に与える影響を示すことができる。また，お辞儀の個人差が各動作の識別に与える影響を示す。

屈曲時の画像は，動画を目視で確認し，それを手動で取得した後，グレースケール値に変換した。お辞儀の動きは，0 フレーム目から終了フレームまでのオプティカルフロー値を時間積分して求めた。

機械学習アルゴリズムのライブラリは統計解析ソフト R を用いた。評価値は，適合率 P と再現率 R, P と R の調和平均 F を用いる。

検証１では，1 人をテストデータとし，それ以外をトレーニングデータとする 10-fold-cross-validation を行った。検証２では，被験者の各動作１個をテストデータとし，それ以外をトレーニングデータとする 10-fold-cross-validation を行った。

［検証1の実験結果］

グレースケール値を入力した際の識別結果を表 2.3.1 に示す。この表から，屈曲時の角度が類似している動作同士で誤識別していることがわかる。

グレースケール値を入力した際の変数重要度の相対度数分布を図 2.3.2 に示す。この結果から，最敬礼の際の頭頂点付近と手の位置付近の変数重要度が高いことがわかる。

次に，お辞儀の動きを入力した際の識別結果を表 2.3.2 に示す。これによると，屈曲時の角度が類似している動作同士で誤識別していたことがわかる。表 2.3.1 と表 2.3.2 を比較すると，すべての動作について，お辞儀の動きを入力した際のＦ値の識別結果（表 2.3.2）の方が高いことがわかる。

表 2.3.1　グレースケール値を入力した際の識別結果（1）

	BW	SL	DBW	BBW	R	P	F
BW	53	34	1	60	0.53	0.36	0.43
SL	22	33	28	8	0.33	0.36	0.35
DBW	0	32	71	0	0.71	0.69	0.70
BBW	25	1	0	32	0.32	0.55	0.41
AVG	-	-	-	-	0.47	0.49	0.47

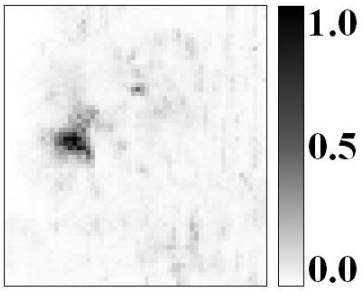


図 2.3.2　変数重要度の相対度数分布

表 2.3.2　お辞儀の動きを入力した際の識別結果（1）

	BW	SL	DBW	BBW	R	P	F
BW	59	21	0	26	0.59	0.56	0.57
SL	20	57	17	11	0.57	0.54	0.56
DBW	1	20	83	0	0.83	0.80	0.81
BBW	20	2	0	63	0.63	0.74	0.68
AVG	-	-	-	-	0.66	0.66	0.66

［検証2の実験結果］

グレースケール値を入力した際の識別結果を，表 2.3.3 に示す。屈曲時の角度が類似している動作同士で，誤識別していることがわかる。お辞儀の動きを

表 2.3.3　グレースケール値を入力した際の識別結果（2）

	BW	SL	DBW	BBW	R	P	F
BW	95	2	0	32	0.94	0.74	0.83
SL	2	93	4	11	0.92	0.85	0.88
DBW	0	5	96	0	0.95	0.95	0.95
BBW	4	0	0	57	0.56	0.93	0.70
AVG	-	-	-	-	0.84	0.87	0.84

表 2.3.4　お辞儀の動きを入力した際の識別結果（2）

	BW	SL	DBW	BBW	R	P	F
BW	96	3	0	12	0.96	0.86	0.91
SL	2	95	0	14	0.95	0.86	0.90
DBW	0	2	100	0	1.00	0.98	0.99
BBW	2	0	0	74	0.74	0.97	0.84
AVG	-	-	-	-	0.91	0.92	0.91

入力した際の識別結果を表 2.3.4 に示す。表 2.3.3 と表 2.3.4 を比較すると, すべての動作について表 2.3.4 のＦ値の識別結果の方が高いことがわかる。

2.3.5　考察

図 2.3.2 から, お辞儀を識別する上で身体の動きより頭頂点の動きが重要であることがわかった。このとき，服の模様がお辞儀の識別に影響していることもわかった。

また，お辞儀の動きの過程が，識別に影響していることがわかった。このことは，検証２の結果から考えられる。グレースケール値で識別した方がオプティカルフローで識別した場合よりすべての動作で低かった。検証２では，個人ごとに学習をしているため，服の模様の影響はうけない。したがって，オプティカルフローとグレースケール値の違いは，お辞儀の過程を考慮するか否かである。

さらに，お辞儀に個人差が存在し，それが識別に影響していることがわかった。このことは，検証１と検証２のオプティカルフローで識別した結果から示唆される。

2.3.6　まとめ

日本人にとってお辞儀は，感情表現のひとつであるため，良好な対人関係を築くための重要な動作となる。「おもてなしの国」日本の文化を世界に広める第一歩として，きれいなお辞儀をすることは重要であろう。よって，本システムの活用意義は十分にあると考える。また，防犯カメラによる対象者のお辞儀の様子は，対象者が街中の防犯カメラ等で追跡される際の有意義な情報となりえる。なぜならば，挨拶を交わした相手の方が上位であるとわかれば，捜査が限定されることが期待できるからである。

本研究は，お辞儀の種類を認識する基礎的研究であるため，カメラの設置場所や撮影場所などの制約がある。今後一般化するためには，これらの制約を受けずに撮影・解析・判定ができるものとしなければならない。

3　おわりに

私が研究論文とした,「マルチエージェント」,「画像認識」,「機械学習」はいずれも人工知能の分野に属する。本来は，それぞれが深く研究されている分野である。私は，それらを網羅的に研究することによって，相互作用や相乗効果の可能性を探求する基礎ができたと感じている。

「マルチエージェント」,「画像認識」,「機械学習」をサブシステムとして捉えると, メインシステムは, いろいろなサブシステムの組み合わせで実現することができるようになる。たとえば，エージェントの判断アルゴリズムに画像認識や機械学習を組み込めば，より現実に近い人間の行動を表現できるようになるだろう。今後は，木村研究室で培った知識を，学問としての人工知能から，実用性のあるシステム設計とその教育に携わりたい。

参考文献

[1] 堀宗朗, 犬飼洋平, 小国健二, 市村強 ： 地震発生時の緊急避難行動を予測するシミュレーション手法の開発に関する基礎的研究, 社会技術研究論文集, vol.3, pp138-145, 2005.

[2] 伊藤悠太郎, 鈴木智彦 ： エージェントアプローチによる群集流動のシミュレーション分析, http://mas.kke.co.jp/event/mas_competition4/result/17_paper.pdf, 第 4 回 KKMAS コンペティション論文集, pp195-202, 2004.

[3] 小林隆一 ： ビジュアル 流通の基本(日経文庫), 日本経済新聞出版社, 2008.

[4] イタルダ･インフォメーション(二輪車事故), 交通事故総合分析センター, http://www.itarda.or.jp/itardainfomation/info07/info07_1.html#part5

[5] 柴崎直人：“いま生きる礼儀作法”, 新潮社 (2000)

[6] Farnebäck, G.: "Two-Frame Motion Estimation Based on Polynomial Expansion", Image Analysis, Springer Berlin Heidelberg, pp.363-370 (2003)

[7] 平井有三 : “はじめてのパターン認識”, 森北出版 (2012)

平成２８年２月１日

学位論文審査報告書（甲）

１．学位論文題目（外国語の場合は和訳を付けること。）

先端技術を支える３つの知的システムの開発

・マルチエージェント、画像認識、機械学習・

２．論文提出者　(1) 所　　属　　電子情報科学専攻

(2) 氏（ふり）　名（がな）　　新田（にった）　雅道（まさみち）

３．審査結果の要旨（600～650字）

平成28年1月28日に第1回学位論文審査委員会を開催、2月1日に口頭発表、その後に第2回審査委員会を開催し、慎重審議の結果、以下の通り判定した。なお、口頭発表における質疑を最終試験に代えるものとした。

本論文は、①スーパーマーケットにおける避難シミュレーションに関する基礎的検討、②自動二輪車における山道カーブ安全走行システムの開発、③機械学習を用いた映像内に現れるお辞儀動作の認識システムの開発について成果をまとめたものである。①はスーパーマーケットを対象に、避難者が店内から屋外へと避難する様子を再現する避難シミュレータの開発を行った。またシミュレータを動作させ、買い物かごやショッピングカートといった移動障害物が避難時に及ぼす影響について調査した。その結果、移動障害物が少ないと避難完了にかかる時間は短くなるが、将棋倒しが起こる可能性が高くなることが判った。また移動障害物が多いと避難完了にかかる時間は長くなるが、移動障害物が少ないときに比べ将棋倒しが起こりにくくなることも判った。②ではデジタルカメラとスマートフォンを用いて、自動二輪車における山道カーブでの安全走行のための低コストで手軽なリアルタイムのシステムを開発した。また、同様な研究は殆ど見当たらない。③は防犯用のカメラの設備を有効利用するために、動画に映し出される「話し合っている人たち」のお辞儀の種類や回数を認識することにより、両者の上下関係の推定を可能にするシステムである。これにより、システムによる環境認識の情報が一層高められる。尚、これまで上下関係を明らかにするシステムの開発は殆どなされていない。

以上の研究成果は、知的システムの開発研究に大きく貢献するものであり、本論文は博士（工学）に値するものと判定した。

４．審査結果　(1) 判　　定（いずれかに○印）　○合　格　・　不合格

(2) 授与学位　　博　士（　工学　）