

平成 27 年度 卒業論文

行為のアトラクター状態を考慮した
カヌーシミュレータ環境の構築

奈良女子大学 理学部

情報科学科 4 回生

(学籍番号：12253118)

新出研究室

諏佐 歩

平成 28 年 2 月 12 日

概要

人間のように自律的に動作するロボットをつくることが求められている。その実現の初期段階として、先行研究では実世界を想定した仮想世界上にて動作をするカヌーシミュレータを作成した^{1, 2)}。我々は、人間がカヌーで川下りを行う際にはカヌーの傾きを安定した状態に保ちながら進むことに着目し、安定性を保ちながら行動する能力を獲得する実験を行う機能を従来のカヌーシミュレータに導入することを目指した。しかし、従来のカヌーシミュレータは環境やエージェントの行為などの表現が単純化されたものであり、安定性の概念の導入に適していない状態であった。そこで、本研究では従来のカヌーシミュレータを改良し、導入に適した環境を構築した。

目次

第 1 章	はじめに	1
1.1	研究背景	1
1.2	研究概要	1
第 2 章	自律エージェント	3
2.1	自律エージェントとは	3
2.2	BDI モデル	3
2.3	強化学習	4
第 3 章	カーシミュレータ	5
3.1	機能	5
3.2	改良点	6
3.2.1	改良点 1: カラーの保持情報の追加	6
3.2.2	改良点 2: 基本行為	7
3.2.3	改良点 3: 障害物の追加	8
3.2.4	改良点 4: 傾きの別ウィンドウ表示	8
第 4 章	実験	10
4.1	実験結果	10
第 5 章	まとめ	12
	参考文献	15

第1章 はじめに

本章では、本研究を行うに当たっての背景と概要を述べる。

1.1 研究背景

日々の日常の中で、人間は自分もつ知識や過去の経験、与えられた情報等をもとに問題解決の解法を判断したり、新たな知識を得たりしている。近年、ロボットやエージェントにもそのような機能が求められている。そこで我々はコンピュータ上で人間の様な学習能力や意思決定能力を実現し、人間の様に自律的に動作するロボットをつくることを目指している。

いきなり実世界で実装することは困難であるため、我々はその初期段階としてコンピュータ上でシミュレータを作成することを目指した。先行研究では、実世界を想定した仮想世界上にてカヌーで川下りを行うシミュレータを作成した^{1, 2)}。スタート地点を出発し、より速くゴール地点に到達できるようなルートを探す機能をもつ。しかし、シミュレータ環境は単純化されたものであり、実世界と比較して相違点が存在しているため、現実に近づける必要がある。

また、人間は最適な行動を実行する際に、アトラクター状態を獲得しようとする³⁾。アトラクター状態とは安定した状態という意味であり、意思決定した行動が問題解決の成功につながるかどうかの判定につながる。そのためには、従来のカヌーシミュレータをより現実に近づけることが求められる。特に従来のシミュレータにはアトラクター状態の導入に必要な概念が一部欠けており、その実現を要する。人間に近い行動の獲得の一環として、シミュレータでの実験にアトラクター状態を導入することが望まれる。

1.2 研究概要

先行研究のシミュレータをより現実的なものにするために、カヌーにアトラクター状態を獲得させる実験を行うことを目指した。人間がカヌーで川下りを行う際は、カヌーの傾きを安定した状態に保ちながらゴールへの到達を目指すことに着目し、カヌーの安定した状態と不安定な状態とを判別し、より速くゴールするだけでなく、安定した状態を維持しながらゴールを目指す仕様とした。

しかし 1.1 節で述べた様に、従来のシミュレータは単純化されたものであり、アトラクター状態の導入に適していない。従って本研究では、シミュレータを現実に近づけるとともにアトラクター状態獲得の実験環境の構築を目的とし、従来のカヌーシミュレータの改良を行った。なお、本研究

は奈良女子大学大学院博士前期過程 2 回生亀村との共同研究であり, アトラクター状態獲得の実験については [4] で述べる.

第2章 自律エージェント

カヌーシミュレータでは、人間と同様の意思決定能力や身体能力等をもつ知能ロボットが周囲の環境を考慮しながらカヌーを操り、ゴール地点まで川を下ることを想定している。我々のシミュレータは、この知能ロボットを自律エージェントと呼ばれるシステムとして実装している。なお、自律エージェントの実装には BDI モデルを用いている。この自律エージェントが強化学習をすることにより、ゴール地点に到達するための行動（漕ぎ方）を選択している。自律エージェントは獲得した行動をプランの一部として使うことができるが、本論文ではプランについては述べず、学習過程に着目したシミュレータの改善についてのみ述べる。

2.1 節では自律エージェントの概要を、2.2 節では BDI モデルについて、2.3 節では強化学習について述べる。

2.1 自律エージェントとは

自律エージェントとは、自ら目標をもち、その達成の方法を自ら決めて行動するシステムである⁵⁾。自律エージェントは、ある与えられた問題に対して目標をたて、その目標を達成していくことにより、解決を図る。目標を達成するために周囲の環境、状況を検知し、その検知した情報をもとに何を行動すべきか自ら選択する。そして、判断した行動の計画をたててから行動を実行していく。ひとつひとつの行動により、周囲の環境や状況は変化するため、それらの変化に反応できる機能も必要である。

カヌーシミュレータでは、自律エージェントがカヌーを操作して川を下ることを想定している。与えられた問題とは、より最適なルートでゴールまで川を下る漕ぎ方を見つけることである。最適なルートとは、川岸にぶつからずにより速くゴールできるルートをさす。そして、周囲の環境や状況とは川やその形、流速、障害物などをさす。

2.2 BDI モデル

BDI モデルは、人間の行動決定方式に基づき開発されたエージェントのモデルのひとつで、エージェントは信念 (Belief)、願望 (Desire)、意図 (Intention) の概念を持ち、これらにより行動選択を行う⁵⁾。信念とは自律エージェントが周囲の環境に関して保持している情報であり、願望とは自律エージェントが成し遂げたいと考えるものであり、意図の候補となり得る。そして、意図とは

問題解決のための計画のなかで、達成したいと考え、その達成に専念する事柄である。エージェントはこれらの概念を用いて、与えられた問題の解決の方法（計画）を探す。

2.3 強化学習

強化学習とは、目標を達成するために何をすべきかを見つける手法のひとつであり、外部から答えを指示されるのではなく、環境との相互作用によって自ら得ようとする⁶⁾。報酬値というものを定義し、その値が最大となるように行動を選択する。報酬値が最大となる行動とは、目標達成のための最適な行動を意味する。カヌーシミュレータでは、ゴールすることでプラスの報酬値が、川岸にぶつかることでマイナスの報酬値が設定されている⁷⁾。

強化学習では、知識利用と探査の2つの行動選択のバランスを取ることによって、多くの報酬値を得られる行動を見つけようとする⁶⁾。知識利用とは、過去に試みた行動のなかで報酬を多く得ることのできる効果的なものを優先的に選ばうと試みることである。対して、過去に試みたことのない行動を選択することにより、さらに効果的な行動を見つけようとするのが、探査である。すなわち、報酬を得るためにすでに持っている知識を利用し、将来的に行動選択を改善するために探査を行う。強化学習において自律エージェントは、様々な行動を試行し、その中で最良なものを見つけしていく。

第3章 カヌーシミュレータ

カヌーシミュレータは、1.1節で述べたように、実世界を想定した仮想世界上にて、カヌーで川下りを行うシミュレータである。本研究での自律エージェントはカヌーを用いて川を下り、ゴール地点により速く到達することを目標とし、強化学習によって最適な行動すなわち漕ぎ方を探す。

3.1節で先行研究のシミュレータの機能を述べ、3.2節にてアトラクター状態導入に対して問題となる点および、本研究の成果として改良した点を述べる。

3.1 機能

先行研究のカヌーシミュレータでは、スタート地点を出発し、岸に衝突しないようにゴール地点までより速く川を下ることを目指す。川を下る際は、5種類の基本行為（川の流りに任せる、前進、後進、右折、左折）から最適な行為が自律的に選択される。複数回川を下ることにより最適な漕ぎ方（基本行為の選択）を学習し、学習終了後に結果として最適な漕ぎ方による川下りの様子を描画する。

図 3.1 に学習終了後に表示される画面を示す。

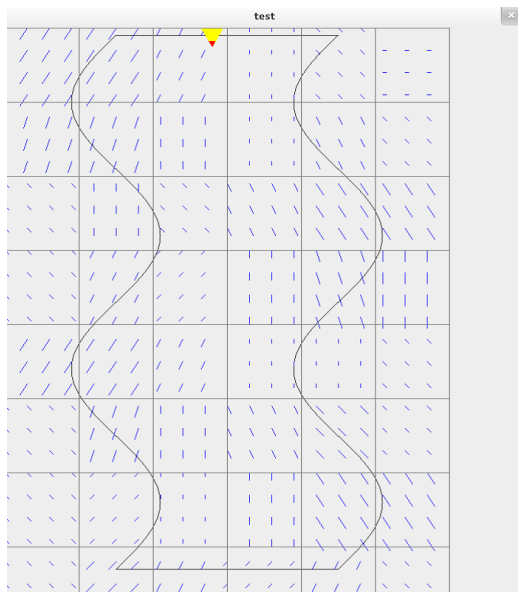


図 3.1 学習結果の表示画面



図 3.2 カヌーの表現

空間の大きさや川の形、流れの速さと向きおよびスタート地点、ゴール地点を任意に与えることができる。図 3.1 でのスタート地点は、上側の黄色い三角形が描画されている座標であり、ゴール地点は下側の川のラインである。空間の座標は連続であり、カヌーの移動距離は連続値で与えることができる。しかし強化学習において状態を有限通りにするため、川の流れに関しては、空間を任意の大きさに区切り、その中は川の流れが等しいとしてある。川の流れは青色の線分で表現し、速さは線分の長さで、向きは線分の傾きで表現している。そして、カヌーは図 3.2 の三角形で表現している。赤色の三角形はカヌーの先頭方向を示している。

学習結果の描画は、各ステップごとの座標にカヌーを描画することで、川下りのルートを表示している。図 3.3 は、カヌーがゴール地点に到達し川下りが成功した場合を、図 3.4 はカヌーが川岸に衝突した場合の描画面面である。

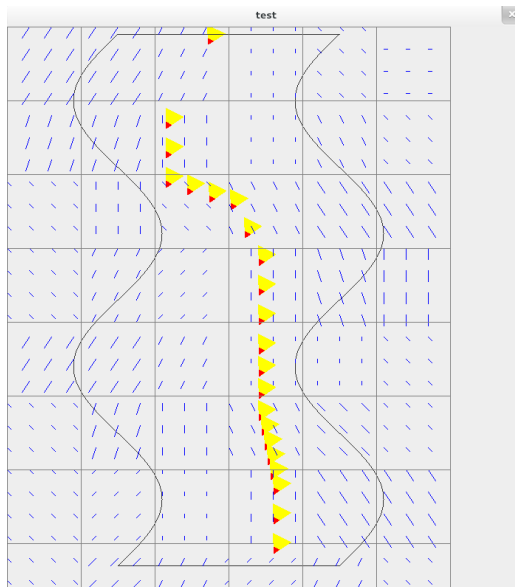


図 3.3 カヌーがゴール地点に到達した場合

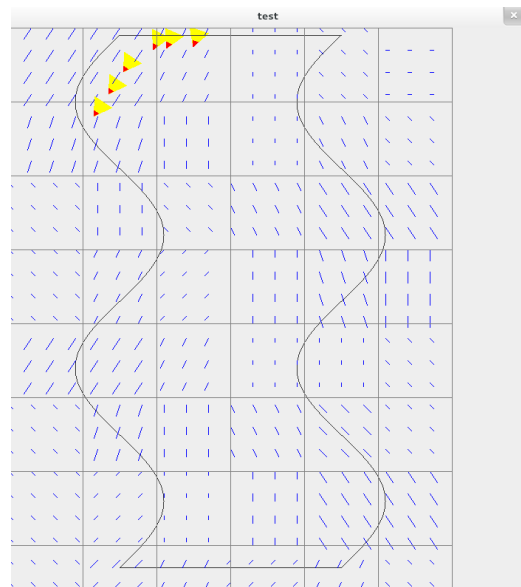


図 3.4 カヌーが川岸に衝突した場合

3.2 改良点

本研究では、シミュレータをより現実に近づけるとともに、アトラクター状態の導入に必要な概念の追加およびそれを視覚化する改良を行った。以下に従来のシミュレータに加えた改良点を述べる。

3.2.1 改良点 1: カヌーの保持情報の追加

従来のシミュレータでは、カヌーの保持情報はカヌーの現在地の座標のみであった。カヌーの表現として図 3.2 のように赤色の三角形をカヌーの先頭方向と定義していたが、実際は向きを持たない「点」の情報として定義されていた。

よってカヌーの保持情報としてカヌーの向き、傾きを追加し、描画時に反映させた。図 3.6 はカヌーの向きを描画に反映させた様子を示す。改良前の描画では図 3.5 のように向きが一定のまま川下りを行っているような描画になってしまっているが、保持情報を追加したことにより、図 3.6 のようにカヌーの向きが考慮された描画に改善できた。なお、傾きの描画への反映について 3.2.4 で述べる。

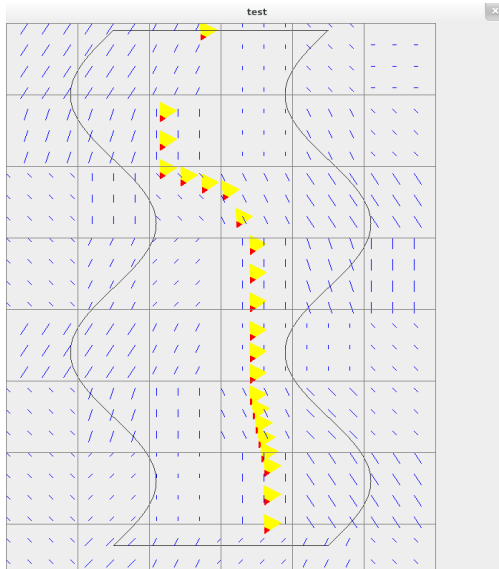


図 3.5 改良前：カヌーの向きが常に一定

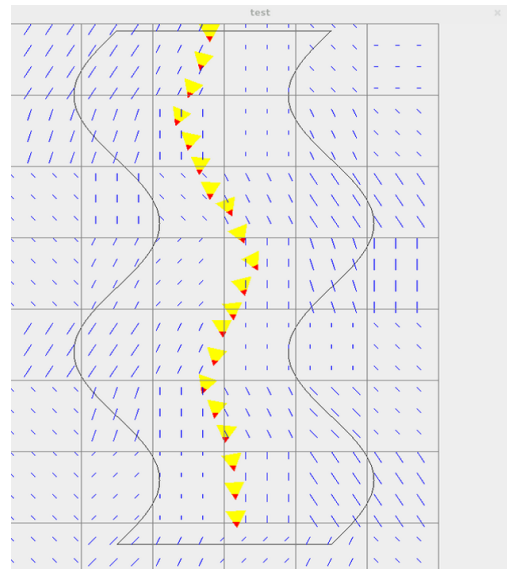


図 3.6 改良後：カヌーの向きを考慮するように変更

3.2.2 改良点 2：基本行為

カヌーは現在地の座標しか保持していなかったため、川の流れを基準にカヌーの前後左右を定義してあり不適切だった。従って基本行為をカヌーの現在地に加えて、カヌーの向きも基準とするように変更し、物理法則に則したものに改良した。

5 種類の基本行為のうち、「前進」を例に説明をする。従来の「前進」の法則を図 3.7 に、改良後の現在の「前進」の法則を図 3.8 に図示する。ここで、青色の矢印は川の流れを、緑色の矢印はカヌーの先頭方向を、黒色の矢印はカヌーの移動方向を示す。

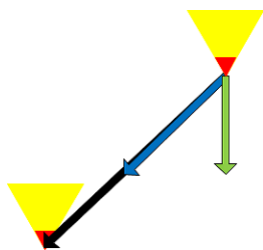


図 3.7 改良前の前進：川の流れのみが基準

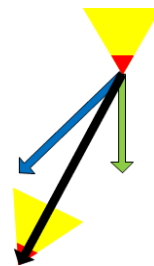


図 3.8 改良後の前進：川の流れとカヌーの向きから次ステップの座標を計算

従来の前進は、カヌーの現在地の川の流れの垂直方向成分、水平方向成分に定数を加えた値を、次のステップのカヌーの座標としていた。改良後は、カヌーの現在地の川の流れの傾きと、カヌーの向きの角度の差をもとに次のステップの移動方向を決めている。川の流れとカヌーの向きの角度差の半分を、角度の小さい方の値に足し合わせた値を次のステップの移動方向の角度とし、その方向を基準とした、垂直方向成分と水平方向成分に定数を加えることで、移動後の座標と定義した。

3.2.3 改良点 3：障害物の追加

従来は川下り失敗の条件は川岸にぶつかることのみだった点に対し、現実の川には岩などの障害物が存在し、より現実的な環境構築のため障害物の追加が必要である。そこで任意の大きさ、個数の障害物を定義し、それを回避して川下りを行えるように改良した。

障害物を定義した場合の川下りの様子の描画を図 3.9, 図 3.10 に示す。図中の黒色の部分が定義した障害物である。図 3.9 では、障害物を回避しながらゴールすることができている。強化学習が不十分である等により、図 3.10 のように障害物に衝突した場合、川下りが失敗と判定される。

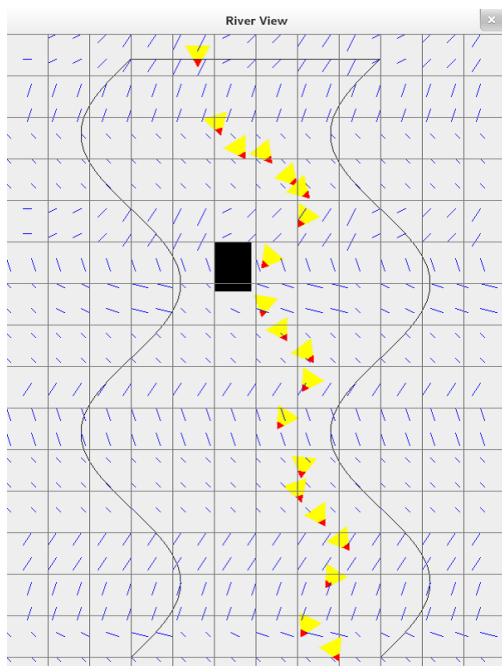


図 3.9 障害物を回避するルート

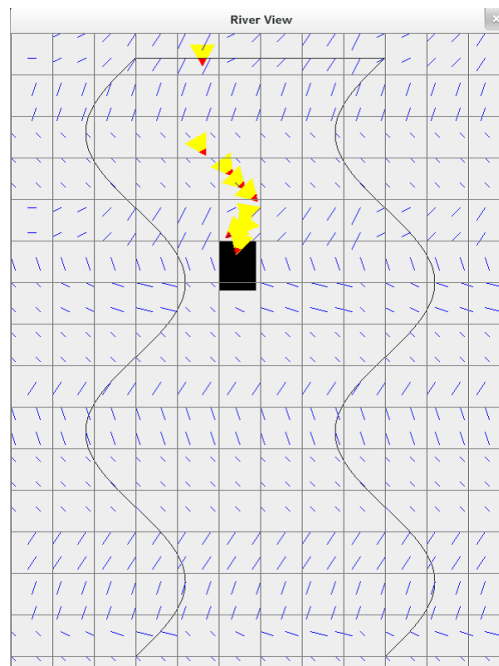


図 3.10 障害物に衝突した場合

3.2.4 改良点 4：傾きの別ウィンドウ表示

アトラクター状態獲得の実験では 3.2.1 で導入したカヌーの傾きに着目し、カヌーが傾きすぎていないことを安定した状態として、この状態を保つ実験を行った。しかし従来はカヌーの傾きを描画できる機能がなかったため、カヌーの傾きを別ウィンドウで可視化するようにした。これにより、同実験に適合した実験環境にすることができた。

図 3.11 に描画結果を示す。右側の小さなウィンドウ上で傾きを可視化している。左側のウィンドウ上での、カヌーの 1 ステップごとの移動に合わせて、1 ステップ移動した時のカヌーの傾きが随時描画される。カヌーの表現は図 3.2 と対応させるため、黄色の楕円と赤色の中央線を用いている。垂直方向および水平方向に直線をひき、画面右上に角度を表示することで、カヌーが左右のどちらに、どれだけの角度で傾いているのかを確認できる。角度表示は、左の場合は負数、右の場合は正数で示し、単位は度である。

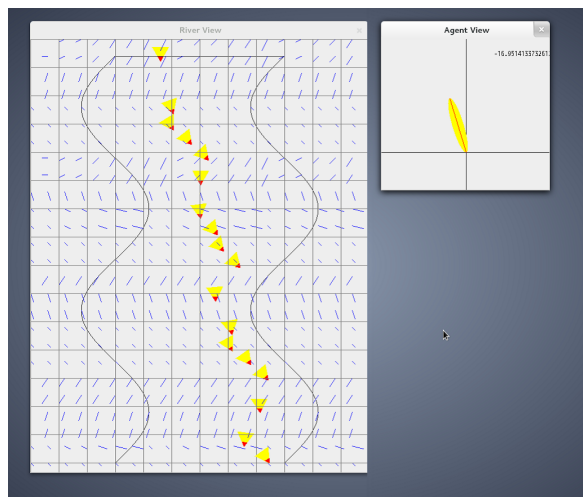


図 3.11 カヌーの傾きの可視化

今回はカヌーの傾きが左右どちらかに 60 度以上になると、カヌーは転覆し川下りに失敗したと判定されるよう設定した⁴⁾。図 3.12 にカヌーが転覆した場合の描画を示す。

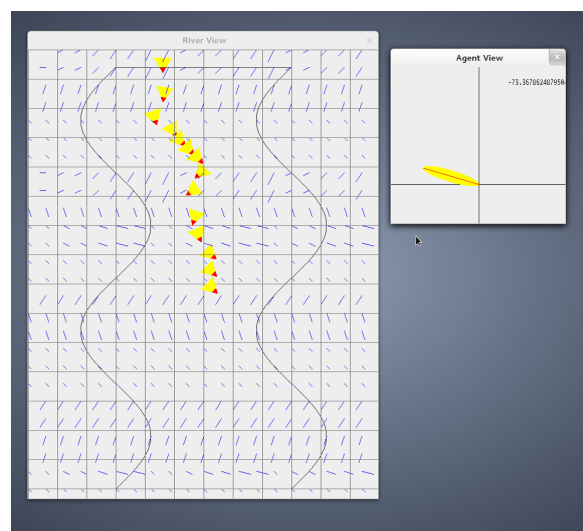


図 3.12 カヌーが転覆した場合

第4章 実験

3章で述べたシミュレータを用いてカヌーのアトラクター状態を獲得させる実験を、共同研究者である亀村が実施した。実験についての詳細は [4] で述べるため、本論文では結果のみ述べる。

4.1 実験結果

カヌーの傾きは、正規乱数で与えられる横波により変化し、基本行為のうち右折と左折を選択した際にも変化する。また、基本行為として、自律エージェント自身でカヌーの傾きを右もしくは左に立て直す行為も追加されている。強化学習を行う際に、カヌーが転覆したときの傾きのデータを基に、カヌーが転覆しそうな状態を探索し、その状態を回避しながら川下りを行うことを可能とした。

図 4.1, 図 4.2 に、強化学習によって得たカヌーの傾きに関するデータを示す。図 4.1 は、強化学習中にカヌーが転覆した時のカヌーの傾きの頻度を示している。横軸が傾きの角度、縦軸が転覆した回数である。60 度で転覆する設定としたため、60 度を越えた直後の角度での転覆が多く発生している。図 4.2 は、強化学習中にカヌーが転覆した時のカヌーの傾きと転覆する直前との角度差の頻度を示している。横軸が傾きの差、縦軸がその頻度である。

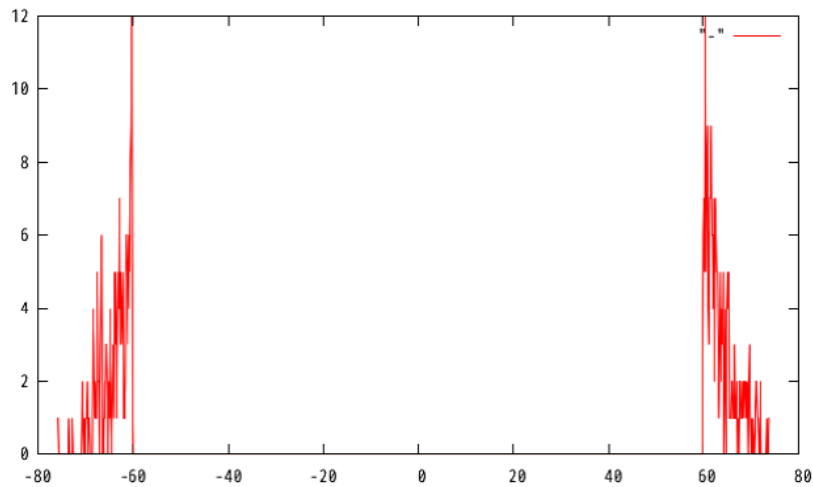


図 4.1 カヌーが転覆したときの傾きの頻度

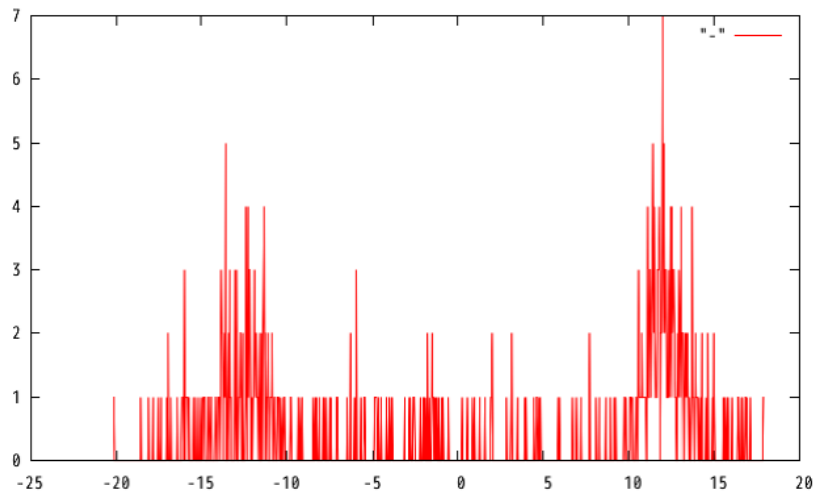


図 4.2 転覆時とその直前の傾きの差の頻度

これらのデータを基に、カヌーの傾きの変化がどれだけになると、転覆の可能性が高くなるかを学習し、傾きを立て直す行為を選択する実験を行った。その結果、自律エージェントは急な角度の変化に対しカヌーの転覆を回避する行動を取ることで、カヌーが安定した状態を保ちながら川下りを行える漕ぎ方を獲得できた。

第5章 まとめ

本研究により，カヌーの動作および川的环境をより現実に近づいたものにすることができ，また，アトラクター状態獲得の実験を適切な環境で実施することができた⁴⁾。

しかし，現在のシミュレータには不十分な点も残っており，その1つとして障害物の通り抜けがある．図5.1のように，障害物がカヌーの1ステップの移動距離よりも小さい場合，衝突の判定が行われない．川岸や障害物への衝突の判定を，移動した先の座標のみで行っていることが原因である．移動前の座標および移動後の座標には，障害物は存在していないが，移動ルート上には障害物が存在しているため，本来ならカヌーは障害物に衝突しているはずである．よって，衝突の判定を移動ルートからも行うように改良する必要がある．

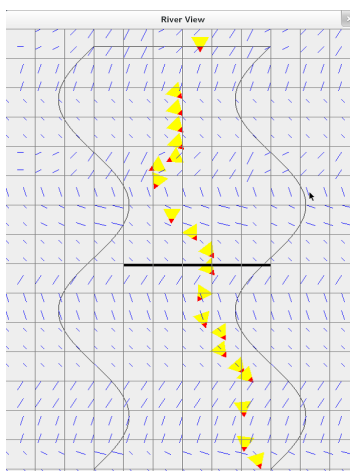


図 5.1 障害物の通り抜け

また，現在は基本行為が5種類のみと限定されている．実際の川下りは前後左右への移動だけでなく，“少し”進む，“多く”進むといった移動距離の調節や，“少し”右へ，“多く”右へといった回転角度の調節も行っている．3.2.3にて，任意の個数の障害物を定義できると述べたが，現状では定義する障害物の個数を増やすと，すなわち川下りの難易度を上げると，川下りを失敗する頻度が多くなり，適切な漕ぎ方を探索できる前に強化学習を終了してしまうことがある．基本行為の種類を増やし細かな漕ぎ方に対応させることで，難易度の高い川環境でも，学習を行うことができると考えられる．

そして、より現実的な周囲の環境を構築することが望まれる。今回、正規乱数で与えられる横波を追加したが⁴⁾、現実世界では変則的な変化は数多く存在する。現実の川の流れは時間によっても変わり、またカヌーの動作によっても影響を受けるため、カヌーシミュレータにおいてもこれらを考慮した実験を行うことが必要であると考えられる。このような改良を施すことにより、川の流れに変化が無い場合と比べ、エージェントにとって予測不可能な環境変化が更に発生するため、不安定な要素が追加されることになり、学習がより難しくなる。そしてその場合、アトラクター状態を考慮した実験で安定性が保てるかどうかは課題のひとつである。

ただし、現在のエージェントの能力だけでは、難易度の高い川的环境下でゴールできる可能性は低いと考えられる。原因として、先に述べた基本行為の種類が限られている点だけでなく、現在のシミュレータでは川のサイズやスタート地点からゴール地点までの距離が短い点、区切った空間内では同じ動作を選択させているなど、すなわち現在のエージェントは比較的簡単な問題を学習しているため、難しい問題に対応できるかどうか不明であるという点が挙げられる。より現実的な環境を構築することに加えて、それに対応できるエージェントの能力を追加する必要もある。

さらに、現在は単一のエージェントが川下りを行うシミュレータではあるが、今後は複数のエージェントに川下りをさせ、カヌーレーシングをテストベッドとしたシミュレータにすることが課題である。他のエージェントとの衝突や、他のエージェントの行動による川環境の変化も加わり、変則的な環境の変化および川下り失敗の条件が増えることになると考えられるが、エージェントがより汎用的な能力を持つためには重要な課題であると考えられる。

謝辞

本研究を行うにあたり，指導教員の新出尚之准教授には技術指導，情報提供，論文の査読等において，丁寧にご指導いただきました。深く感謝し，厚く御礼申し上げます。また，同研究室の亀村美佳先輩にはプログラム設計等に関して多くの助言をいただきました。

ご協力いただいた皆様に感謝申し上げます。

参考文献

- [1] 宮田怜奈. カヌーレーシングのシミュレーション環境における強化学習について. 卒業論文, 奈良女子大学理学部情報科学科, 2015.
- [2] 柚木静香. 実世界のエージェント構築のためのシミュレーション環境の実現. 卒業論文, 奈良女子大学理学部情報科学科, 2015.
- [3] 高田司郎, 新出尚之. 行為のアトラクター状態を考慮した知能ロボットについて. In *Proc. of JAWS2012*, 2012.
- [4] 亀村美佳. BDI エージェントによる連続的な仮想世界におけるシミュレーションの実装. 修士論文, 奈良女子大学大学院人間文化研究科, 2016.
- [5] Rafael H.Bordini, Jomi fred Hubner, and Michael Wooldridge. *Programming Multi-Agent Systems in AgentSpeak using Jason*. WILEY, 2007.
- [6] Richard S. Sutton, Andrew G. Barto, 三上貞芳, 皆川雅章共訳. 強化学習. 森北出版株式会社, 2003.
- [7] 林里穂. 連続的なシミュレーション環境でのエージェントの学習と意思決定の実装について. 卒業論文, 奈良女子大学理学部情報科学科, 2014.