

平成27年度 修士論文

投票行動時系列データ解析に基づく
意思決定戦略の分析

電気通信大学 大学院情報システム学研究科
社会知能情報学専攻

1451029 樋口 尚吾

主任指導教員：大須賀 昭彦 教授

指導教員：田原 康之 准教授

指導教員：山本 佳世子 准教授

平成28年1月28日（木）提出

概要

公営競技等の賭事では、勝負事の結果に関わる有利な情報を持った参加者による特異的な投票行動を、他の参加者が垣間見ることのできる場合がある。本研究では、競馬での時系列オッズデータに基づき、競馬予想について優れた情報を持った投票者の意思決定を窺い知る（知識察知する）ことで、競馬市場参加者のための合理的な投資を行うことを目指す。競走結果に関わる有利な情報であり、なおかつ多くの競馬ファンに知られていない情報を持った投票者（インサイダー投票者）がオッズの変化を促した可能性が高い勝馬投票券を抽出する既存手法を、日本中央競馬会（JRA）の実施した競走データへ適用するためのパラメータ決定方法を提案した。評価実験では Simulated Annealing を適用することで勝馬投票券抽出に係るパラメータの最適化をおこない、1着賞金 2000 万円以上のレースに関して収益率が最大 3000%以上となる条件が存在することが判明し、これより知識察知の可能性が明らかとなった。比較実験では、決定木を用いた分類モデルの構築により知識察知を行わない場合での投資判断も併せて行い、提案手法の有効性を評価した。評価実験に基づきインサイダー投票者の投票行動についての考察および今後の課題についての議論を行い、最終的に本手法の他ドメインへの適用を試みた。

目次

第1章	序論	1
1.1	研究背景	1
1.2	研究目的	2
1.3	本論文の構成	3
第2章	研究の背景知識	4
2.1	関連研究	4
2.1.1	機械学習を用いた競走結果予測	4
2.1.2	穴馬への過剰な選好に関するもの	5
2.1.3	日本での競馬市場を対象とした研究	5
2.2	中央競馬について	6
2.2.1	概要	6
2.2.2	勝馬投票の的中者に対する払戻計算式	9
2.2.3	本論文で成績評価に用いる指標	11
第3章	提案手法	12
3.1	インサイダー投票者からの知識察知	12
3.2	投票券抽出の条件	12
3.2.1	Shin の提案した全投票行動に占めるインサイダー投票の割合	13
3.2.2	Law and Peel の提案する投票券抽出の条件	14
3.3	開始オッズの決定およびパラメータの最適化	17
第4章	評価実験	19
4.1	J R A が主催した競走への適用	19

4.1.1	知識察知に適した競走について	19
4.1.2	安定的に利潤を得られる投票券抽出条件	21
4.2	知識察知を行わないときの期待収益率	24
4.3	知識察知に係るパラメータの最適化	26
4.3.1	最急降下法の適用	26
4.3.2	2次元関数の評価による最適化手法検討	26
4.3.3	Simulated Annealing の適用	30
第5章	考察	32
5.1	インサイダー投票者の投票行動	32
5.2	投票ペースの考慮について	34
5.3	他のドメインへの適用可能性	36
5.3.1	株式投資での知識察知	36
5.3.2	知識察知の応用例	38
第6章	結論および今後の課題	39

目次

1.1	研究の目的	2
3.1	インサイダー投票によるオッズの変化 ($mop > 0.05$)	16
3.2	インサイダー投票によるオッズ全体の均一化 ($dz > 0$)	16
3.3	パリミュチュエル方式でのインサイダー投票	18
4.1	$mop \geq 0.05$ での抽出馬および収益率推移	21
4.2	$0 \leq mop < 0.05$ での抽出馬および収益率推移	22
4.3	$mop < -0.05$ での抽出馬および収益率推移	23
4.4	$mop < -0.05$ 近傍での抽出馬および収益率推移	23
4.5	構築した決定木	25
4.6	2変数による期待収益率 (全レース対象)	27
4.7	2変数による期待収益率 (1着 2000万円以上)	28
4.8	2変数による期待収益率 (1着 2000万円以上)	29
4.9	$dz \geq 0$ のときの最適解周辺 (1着 2000万円以上)	29
4.10	10重交差検定での平均期待収益率および平均抽出頭数	30
5.1	インサイダー投票者の意図	33
5.2	各得票割合に達する時間帯	34
5.3	時間帯グループ別での期待収益率	35

表 目 次

2.1	当日の発売開始時刻および発売締切時刻	7
2.2	前日の発売開始時刻および発売締切時刻	7
2.3	勝馬投票券の種類	8
2.4	投票法毎の発売金構成比 (%) の過去5年間の推移	8
2.5	競馬投票法ごとの払戻率	9
4.1	mop, dz の各区分での結果 (全レース対象)	19
4.2	mop, dz の各区分での結果 (1着2千万以上)	20
4.3	決定木分類で用いた説明変数	25
5.1	時間帯グループ (1)~(3) に含まれる競走の情報	35
5.2	東芝 (6502.T) での特異的な出来高検出日	37
5.3	旭化成 (3407.T) での特異的な出来高検出日	37
6.1	東芝 (6502.T) の出来高一覧	44
6.2	旭化成 (3407.T) の出来高一覧	49

第1章 序論

1.1 研究背景

賭博のうちでも参加者が勝負事の結果に関与できないものを「賭事」と定義する。例として公営競技やルーレット、宝くじなどが挙げられる。公営競技等の賭事では様々な意思決定戦略を持った人々により投票が行われ支持率が決定し、それに基づき配当が決定される。欧米などでの賭事対象はスポーツに留まらず、大統領選挙などを始めとする政治的選択など社会性の高い事柄についても対象となる¹。また、株式の購入なども利潤を得るための一種の投票行動であり、株式投資を賭事と考えることもできる。

代表的賭事である公営競技において、興味深い投票行動が観察された例が報告されている。日本中央競馬会（JRA）が主催する競走のうち、屈指の注目を集める2014年秋の菊花賞（G1）および天皇賞（秋）（G1）において、実績がほとんどない競走馬であるにも関わらず、とある参加者により大口投票を受けて不自然な人気順位で支持され、結果的に当該馬が勝利するといった事案が発生した。こうした現象は過去にも観察されており、日刊スポーツ²による「大口投票」に関する記事をGoogle検索³することで同様の事案を発見することができる⁴。著者らが認識しているなかで最も古いものでは、2003年宝塚記念（G1）で先と同様に実績に乏しいヒシミラクル号の単勝馬券に1222万円を投資した参加者（通称：ミラクルおじさん）が、当該馬の勝利によりおよそ2億円の払い戻しを受けた事例⁵があり、競馬市場参加者の間では有名である。このような大口投票に代表される特異的な投票行動が、賭事での予想に役立つのではないかと考える研究は少なからず存在

¹NBC NEWS.com: Irish bookie say race over, pays off on Obama (2008) http://www.nbcnews.com/id/27236818/ns/world_news-europe/t/irish-bookie-say-race-over-pays-obama/#.Vm73VkyNBd

²<http://www.nikkansports.com/>

³<https://www.google.co.jp/#q=大口投票+site:nikkansports.com>

⁴24件がヒット。賭事に関連するものは17件（2015年6月29日時点）

⁵<https://ja.wikipedia.org/wiki/ヒシミラクル>

するものの、ブックメーカー方式⁶に特化したものであり日本で認められているパリティ方式⁵には対応していない。そこで、先の事象の一般化を試みることにより、賭事での合理的な投資戦略への援用の可能性を探る。

1.2 研究目的

以上で紹介したような大口投票を受けて形成された不自然なオッズは、特異的な投票行動の痕跡が他の参加者より垣間見ることのできる事例と捉えることができる。そこで本研究では勝負事の結果に関わる有利な情報かつ、多くの参加者に知られていない情報を持った投票者を「インサイダー投票者」と定義する。インサイダーというと株式投資等では不法な投票者の一種として扱われるが、本研究では必ずしも内部の情報に通じている投票者である必要はなく、合法的に独自の知識を有するに至った場合も含まれることに留意したい。

本研究では、公に利用可能な情報を利用し、インサイダー投票者による特異的な投票行動を察知することで、安定的に利潤を得る投資戦略を提案する。投票行動履歴が豊富なものとして、日本中央競馬会（JRA）に許諾を頂いた上で、JRAが主催した競走への競馬市場参加者（以下、競馬ファンとする）による得票データを解析対象とし、勝馬投票券の購入に関わる投資戦略を分析する。将来的には本分析での知見を活かし、賭事に伴う投票行動全般に応用できる合理的な意思決定戦略を獲得することを目指す。



図 1.1: 研究の目的

⁶3.1 節を参照

大量の得票データに機械学習などの技法を適用することで、利潤を最大化する知識を察知し、競馬ファンのための最適戦略を導出する。これは、公営競技という限定的な市場のみならず、先に挙げた他人の意思決定を窺い知ることができる投票行動について、様々な示唆を与える可能性を持っている。

本研究では、インサイダー投票者がオッズの変化を促した可能性が高い勝馬投票券を抽出することにより、1着賞金2000万円以上のレースに関して収益率が最大3670%となる条件が存在することを示し、合理的な投資戦略が得られる可能性が明らかとなった。また、決定木を用いた分類モデルの構築により、前述の抽出手法を用いない投資判断も併せて行い、提案手法の有効性を評価した。最終的に、他のドメインへの適用を試みることにより、提案手法の一般性について考察を行った。

1.3 本論文の構成

本稿の構成は以下の通りである。第2章に研究背景知識として競馬投資戦略についての世界各国での研究および日本での競馬市場を対象とした研究、JRAの主催する競馬について本論文で必要となる知識について紹介する。第3章ではインサイダー投票者がオッズの変化を促した可能性が高い勝馬投票券を抽出する既存手法およびJRAデータへ適用するためのパラメータ決定方法、最適化手法について説明する。第4章では評価実験として既存手法のJRAデータへの適用および評価を行い、Simulated Annealingを適用することで最適解を導出する。また比較実験として、決定木を用いた分類モデルの構築により知識察知を行わない場合での投資判断も併せて行い提案手法の有効性を評価する。第5章では評価実験に基づきインサイダー投票者の投票行動についての考察および投票ペースの考慮、今後の課題について議論し、最終的に本手法の他のドメインへの適用を試みる。第6章で本稿をまとめる。

第2章 研究の背景知識

2.1 関連研究

以下に競馬における投票行動に関する研究について示す。社会知能学の分野では賭博を対象とする研究が数多く行われている [1].

2.1.1 機械学習を用いた競走結果予測

欧米などでの競馬市場を対象として、機械学習を用いた競馬予想の研究が多数行われており、優れた中精度が得られている。近年の競馬予想に関する研究はニューラルネットワークを用いたものが多く、競走馬の走破タイムを予測する変数が用意され、ニューヨークの競馬を対象として平均77%の勝率が挙げられたものや [2], ジャマイカの競馬を対象として平均74%の勝率が得られたものなどがある [3]. サポートベクターマシン (SVM) を用いたものも複数存在し、近年ではイギリスの競馬市場を対象とした競馬予想のための分類モデルの構築研究が行われている [4].

その他にもファジィ論理によるモーリシャスの競馬市場を対象とした競馬予想の研究 [5] や確率加重関数によって重みづけされた確率によるアプローチ [6] を用いた競馬予想の研究も行われており、実験結果と競馬予想専門家やブックメーカー等の予測精度と比較することで、それらの有用性が認められている。

特に、ニューラルネットワークを用いた結果予測は競馬に留まらず、ドッグレースを対象として予想専門家たちを超える利得を得たものや [7], サッカーの勝敗を優れた精度で予測した研究などがあり [8], スポーツの結果予想に適していることが示されている。

2.1.2 穴馬への過剰な選好に関するもの

また、世界各国の競馬市場において「各馬の勝つ客観的な確率」に「その馬に対する賭金の払戻倍率」を乗じた値（期待利益率）を比較すると、本命馬は値が大きくなり、穴馬は値が小さくなる傾向が観測されている。この穴馬への過剰な選好は“Favorite-Longshot Bias”と呼ばれ、これを説明する理論について数多くの研究がなされている。また、穴馬バイアスを応用した投資戦略により「期待収益率が正」という実証結果を得たものも存在する [10].

2.1.3 日本での競馬市場を対象とした研究

日本の競馬市場を対象とした先行研究もいくつか存在する。JRAの主催する競走の得票データからも、前項の Favorite-Longshot Bias は観測されており、行動経済学の観点より分析が行われている [11].

競馬ファンの形成した最終オッズの精度 (Accuracy Ratio) は、過去の馬や騎手の実績を基に予想を行うロジットモデル、現レースでの走破タイムを予想するニューラルネットワークモデルを上回るという報告もあり、日本の競馬ファンによる集合知は一定の評価を得ていると考えられる [12]. また、複数の投資戦略が存在するモデルが提案され、各投票者の存在比率についての推測が行われている [13].

以上のように競馬市場全体についての調査は行われているものの、特定の参加者の意思決定に着目した投資戦略の提案は未だ行われておらず、本分析は社会知能分野において新しい研究であるといえる。そこで本論文では、公に入手可能な情報を分析することで、競走結果に関わる有利な情報を持った競馬ファンによる投票の痕跡などの意思決定に有用な情報を獲得することを「知識察知」と定義し、分析を進めてゆく。

2.2 中央競馬について

2.2.1 概要

【I】開催について

現在、日本中央競馬会（JRA）が実施する中央競馬では、10の競馬場¹で年間約3400レースが行われている。原則として毎週土曜日・日曜日に実施され、4週8日の日程で1開催（○回東京△回目など）としている。1日に開催される競走はおよそ12競走である。²

【II】競走について

中央競馬で開催される競走は「一般競争」と「特別競走」の2つに分けられる。一般競争は、特定の固有名称を持たない競走であり、大多数の競走が該当する。例として「サラブレッド系3歳未勝利」や「サラブレッド系4歳以上1500万円以下」などが挙げられる。

特別競走は、特定の固有名称を持つ競走であり、一般的に一般競争より賞金は高く設定され、上級クラスの競走馬が出走する。例として「阿寒湖特別」や「若葉ステークス」などが挙げられる。³また特別競走のひとつに、特に賞金が高額である重賞競走が存在し、グレード制⁴により格付けが行われている。G1、G2、G3の3グループに分類されており、G1は競走体系上もっとも重要な意義をもつ根幹競走とされている。

【III】勝馬投票券について

中央競馬では勝馬投票券を各競馬場（非開催の競馬場を含む）およびJRAの運営する場外馬券場（WINS）、一部の地方競馬の競馬場や場外馬券売場で当該競走の発走時刻の直前まで購入できる。また電話投票（PAT）会員制で、電話投票やインターネット投票でも勝馬投票券を購入できる。⁵

勝馬投票券の発売時間は、当該競走の開催曜日やグレードによって異なる。投票受付時間が最も長いインターネット投票の発売時間について、表2.1および表2.2に発売開始時刻

¹札幌・函館・福島・新潟・東京・中山・中京・京都・阪神・小倉の10競馬場（2016年1月時点）

²<https://ja.wikipedia.org/wiki/中央競馬#.E9.96.8B.E5.82.AC>

³<https://ja.wikipedia.org/wiki/競馬番組#.E7.AB.B6.E8.B5.B0.E5.90.8D>

⁴日本中央競馬会: 競馬用語辞典-グレード制 <http://www.jra.go.jp/kouza/yougo/w323.html>

⁵<https://ja.wikipedia.org/wiki/中央競馬#.E5.8B.9D.E9.A6.AC.E6.8A.95.E7.A5.A8.E5.88.B8>

および発売締切時刻⁶を示す。なお、特定のG1競走⁷では前々日の14時～19時に発売が行われる「金曜日発売」⁸がある。

表 2.1: 当日の発売開始時刻および発売締切時刻

対象レース	発売開始日時	発売締切時刻
土曜日全レース	土曜日の7時	各レース発走時刻1分前
日曜日全レース	土曜日の19時30分	
月曜日全レース	日曜日の19時30分	

表 2.2: 前日の発売開始時刻および発売締切時刻

対象レース	発売開始日時	発売締切時刻
日曜日の重賞レース	土曜日の7時	土曜日の17時30分
月曜日の重賞レース	土曜日の19時30分	日曜日の17時30分

【IV】勝馬投票券の種類

現在、日本の競馬市場では表 2.3 に示す種類の勝馬投票券（馬券）が主に販売されている [11]。また、投票法毎の発売金構成比の過去5年の推移⁹を表 2.4 に示す。本研究では単勝式での投票データのみを扱う。

【V】競馬予想サービスについて

日本中央競馬会（JRA）の子会社である JRA システムサービス株式会社が提供する競馬予想サービス「JRA-VAN」では、ニューラルネットワークを利用することで走破速度および競走馬の勝敗を予測する2種類の予測モデル¹¹を提供している。データマイニング予測

⁶日本中央競馬会: 平成28年度電話・インターネット投票（IPAT/ARS方式）の発売時間について <http://jra.jp/dento/member/apat/hatsubai.html>

⁷おもに、皐月賞、東京優駿（日本ダービー）、菊花賞、天皇賞（春・秋）、有馬記念の6レースについて行われる。

⁸日本中央競馬会: 競馬用語辞典-金曜日発売 <http://www.jra.go.jp/kouza/yougo/w412.html>

⁹日本中央競馬会: 企業情報事業報告書（平成26年度）<http://company.jra.jp/0000/keiei/keiei02/pdf02/houkoku26.pdf>

¹⁰JRAでは2011年にWIN5の発売が開始された。2016年1月現在、インターネット投票限定で発売している

¹¹JRA システムサービス株式会社: JRA-VAN データマイニング予測の仕組み <http://jra-van.jp/fun/dm/mining.html>

表 2.3: 勝馬投票券の種類

投票法	投票法の通称	投票法の内容	英語通称
単勝式	単勝	1着になる馬1頭を選択する	Win
複勝式	複勝	2着までに入る馬のうち1頭を選択する	Place
		3着までに入る馬のうち1頭を選択する	Show
連勝単式	馬単	2着までに入る馬2頭を, その順列も含めて選択する	Exacta
	三連単	3着までに入る馬3頭を, その順列も含めて選択する	Trifecta
連勝複式	馬連	2着までに入る馬2頭の組み合わせを選択する (順列を考慮する必要はない)	Quinella
	ワイド	3着までに入る馬2頭の組み合わせを選択する (順列を考慮する必要はない)	Quinella Place
	三連複	3着までに入る馬3頭の組み合わせを選択する (順列を考慮する必要はない)	Trio
重賞式	WIN5 他 ¹⁰	複数のレースにおける結果について, 単勝式や複勝式の投票法で一度にまとめて選択する	Double 他

表 2.4: 投票法毎の発売金構成比 (%) の過去5年間の推移

	単勝	複勝	枠連	馬連	ワイド	馬単	3連複	3連単	WIN5
平成22年	4.2	6.4	3.8	15.1	4.8	9.8	18.7	37.3	-
平成23年	4.5	7.2	3.5	14.3	5.1	9.1	18.1	36.2	2.0
平成24年	4.7	7.6	3.6	13.9	5.4	8.7	18.2	35.8	2.1
平成25年	5.0	8.3	3.5	13.6	5.5	8.5	18.2	35.6	1.8
平成26年	5.3	8.6	3.5	14.3	6.0	7.9	18.6	34.2	1.5

による最新の競馬開催日の的中率・回収率や, 過去に的中させたオッズ50倍以上の結果などがデータマイニング通信簿¹²として掲載されている。

また JRA-VAN の DataLab. (データラボ) 会員サービス¹³では, 競馬予想ソフトの開発支援ツールが提供されており, 多くの一般ユーザーが自作のソフトを公開している。報奨金総額1,200万円も用意されている。

¹²JRA システムサービス株式会社: JRA-VAN データマイニング最新結果 <http://jra-van.jp/fun/dm/new.html>

¹³JRA システムサービス株式会社: DataLab. (データラボ) 会員サービス-ソフト開発者向け <http://jra-van.jp/dlb/sdv/index.html>

2.2.2 勝馬投票の的中者に対する払戻計算式

以下にオッズの計算に必要となる，勝馬投票の的中者に対する払戻計算式を示す．なお競馬関係法令の一部改正に伴い，中央競馬における勝馬投票法ごとの払戻率に変更されたため，平成26年6月7日(土)以降と平成26年6月1日(日)以前では計算式が異なる．

JRAが一般向けに公開している時系列得票数および時系列オッズに関する情報は，それぞれ総得票数および個々の競走馬のオッズのみとなっており，個々の競走馬の得票数を求めるためにはオッズの決定に係る計算式を用いて逆算する必要がある．なお個々の競走馬のオッズは小数点第一位までしか算出されるため，推定得票数の精度は有効数字2桁程度となる．

【I】平成26年6月7日(土)以降

勝馬投票の的中者に対する払戻金は，式2.1によって算出した払戻対象総額を，当該勝馬に対する各勝馬投票券の券面金額に按分したものとなる¹⁴．ここで当該勝馬に対する勝馬投票券の総券面金額を W ，出走した馬であって勝馬以外のものに対する勝馬投票券の総券面金額を D ，勝馬の数を P ，JRAが投票法ごとに定めた率を R （表2.5を参照）とする．

$$(W + D/P) \times R \quad (2.1)$$

表 2.5: 競馬投票法ごとの払戻率

勝馬投票法の種類	単勝	複勝	枠連	馬連	ワイド	馬単	3連複	3連単
設定払戻率	80.0%		77.5%			75.0%		72.5%

よって，各投票券に対するオッズは式2.2によって算出される．

¹⁴日本中央競馬会: 勝馬投票券具体的な払戻計算式を知りたいのですが? http://www.jra.go.jp/faq/pop03/1_17.html

$$\frac{(W + D/P) \times R}{W} \times 100 \quad (2.2)$$

また，馬番号 n の競走馬の推定得票数 V_n は，全出走馬の総得票数を V_{all} ，馬番号 n のオッズを O_n としたとき，式 (2.3) で算出できる．

$$V_n = \frac{V_{all} \times R}{O_n} \quad (2.3)$$

【II】平成 26 年 6 月 1 日 (日) 以前

勝馬投票の的中者に対する払戻金は，第 1 号算式 (2.5)，第 2 号算式 (2.6)，および第 3 号算式 (2.7) によって算出された $T_1 \sim T_3$ を式 (2.4) に代入することにより算出された払戻対象総額を，当該勝馬に対する各勝馬投票券の券面金額に按分したものとなる¹⁵．なお式 2.5 の 18% は第 1 控除率，式 2.6 の 10% は第 2 控除率と呼ばれ，第 3 号算式は単勝式・複勝式にのみ使用される．

$$T_1 - T_2 + T_3 \quad (2.4)$$

$$T_1 = (W + D/P) \times (1 - 18\%) \quad (2.5)$$

$$T_2 = (T_1 - W) \times 10\% \quad (2.6)$$

$$T_3 = \{(W + D)/P\} \times 5\% \quad (2.7)$$

よって単勝市場の場合では，各投票券に対するオッズは式 2.8 によって算出される．

¹⁵日本中央競馬会: JRA ニュース-平成 26 年 6 月 7 日 (土) 以降の勝馬投票法ごとの払戻率について <http://www.jra.go.jp/news/201403/030305.html>

$$\frac{T_1 - T_2 + T_3}{W} \quad (2.8)$$

また単勝市場の場合での、馬番号 n の競走馬の推定得票数 V_n は式 (2.9) で算出できる。

$$V_n = \frac{V_{all} \times 7.88}{O_n \times 10 - 1} \quad (2.9)$$

2.2.3 本論文で成績評価に用いる指標

本論文では成績評価に用いる指標として、投資金額に対する払戻金額の割合を表す「収益率」を定義する。オッズが O_n である投票券種 n が的中した場合、収益率は $O_n \times 100(\%)$ で表され、投票券が外れた場合は収益率は0となる。

本論文で提案する投資戦略に基づき、抽出された投票券全てに同額ずつ投資した場合の（払戻金額）／（投資金額比）を期待収益率と呼び、期待収益率が100%を超えるとき、投票券購入により利潤を得られる投資戦略と判断する。なお、ランダムに投票券の購入を行った場合、表 2.5 に示した設定払戻率前後に収束することとなる。

第3章 提案手法

3.1 インサイダー投票者からの知識察知

競馬投資での利得を最大化するため、インサイダー投票者からの知識察知を行う。インサイダー投票者が実績に乏しい穴馬に大口投票を行うと、その時点で当該馬のオッズが人気方向に変化するものと考えられる。本研究では、Law and Peel[9]の提案した、インサイダー投票者がオッズの変化を促した可能性が高い勝馬投票券を抽出する手法を適用する。

日本の公営競技では、最終得票率の逆数に応じた確定オッズに従って、的中投票券に払戻が行われる「パリミュチュエル方式」のみが認められている。他方、海外の競走ではブックメーカー¹が予め設定したオッズを明記して投票券を販売し、購入した時点でのオッズに従い払戻が行われる「ブックメーカー方式」が売り上げの大半を占めている。本稿でのオッズは投票券が的中した場合の倍率のことを指し、オッズ4.0の投票券を100円買った場合、当該馬が勝つと400円の払戻金が受け取れる²。

Law and Peelの対象としたイギリス競馬でのオッズについても、ブックメーカー方式によるものである。そのため、本手法をパリミュチュエル方式に直接適用することは困難である可能性がある。

3.2 投票券抽出の条件

Law and Peelは2つのパラメータ mop , dz を定義し、一定の条件を満たす勝馬投票券を抽出したときの、期待収益率が100%を上回ることを観測している。なお、 dz の算出にあたりShin[14]の提案した全投票行動に占めるインサイダー投票の割合 z を引用している。

¹賭け屋のこと。胴元とは異なり、私設の投票所を運営する。

²日本中央競馬会: 競馬ビギナー・はじめての方へオッズ <http://www.jra.go.jp/kouza/beginner/odds/>

3.2.1 Shin の提案した全投票行動に占めるインサイダー投票の割合

Shin は競馬市場が3つのステージによって構成されていることを提案している。ステージ1は Bidding Stage であり、このステージでは2つのブックメーカーが存在し、入札値の低いブックメーカーが勝馬投票券を販売する権利を落札する。ステージ2は Price-setting Stage であり、複数の投票券種の払戻合計金額は、ステージ1での落札値を超えないように設定される。ステージ3は Betting Stage であり、出走頭数 n のうち馬番号 i が勝利する客観確率を p_i 、全投票行動に占めるインサイダー投票の割合 z と定義した。

ステージ2において、ブックメーカーがインサイダー投票者に対して見積もる期待払戻額は式 (3.1)、一般投票者への期待払戻額は式 (3.2) で表すことができる。なお投票券種 i のオッズを π_i とするが、ここでのオッズ π_i は欧州等で用いられる分数表記であり、日本で用いられる小数点表記でのオッズが ω_i のとき $\pi_i = 1/(\omega_i + 1)$ と表せる。

$$z \sum_{i=0}^n (p_i / \pi_i) \quad (3.1)$$

$$(1 - z)p_i \sum_{i=0}^n (p_i / \pi_i) \quad (3.2)$$

また、ステージ2においてブックメーカーの利益を最大化させるため、ステージ1でのブックメーカーによる投票券の販売可能な上限額を β としたとき全ての i に対して $\sum_{i=0}^n \pi_i \leq \beta$ および $0 \leq \pi_i \leq 1$ の制約の下で式 (3.3) の最大値を求める。

$$1 - \sum_{i=0}^n \frac{zp_i + (1 - z)p_i^2}{\pi_i} \quad (3.3)$$

ここで投票券種 i のオッズ π_i は売上金額と払戻金額の比により式 (3.4) で表され、 π_i を式 (3.3) に代入することにより、ステージ2でのブックメーカーの利益は式 (3.5) で表せる。

$$\pi_i = \frac{\beta \sqrt{zp_i + (1 - z)p_i^2}}{\sum_s \sqrt{zp_s + (1 - z)p_s^2}} \quad (3.4)$$

$$1 - \frac{1}{\beta} \left\{ \sum_s \sqrt{zp_s + (1-z)p_s^2} \right\}^2 \quad (3.5)$$

ステージ2での最低落札額を考慮すると、式(3.5)での利益は0になるので式(3.6)が成り立つ。これを式(3.4)に代入すると、投票券種*i*のオッズ π_i は式(3.7)で表せる。

$$\beta = \left\{ \sum_s \sqrt{zp_s + (1-z)p_s^2} \right\}^2 \quad (3.6)$$

$$\pi_i = \sqrt{zp_i + (1-z)p_i^2} \left\{ \sum_s \sqrt{zp_s + (1-z)p_s^2} \right\} \quad (3.7)$$

式(3.7)を p_i について解くと式(3.8)となり、式(3.8)の自乗和は式(3.9)となる。

$$p_i = \sqrt{\frac{z^2}{4(1-z)^2} + \frac{\pi_i^2}{\beta(1-z)}} - \frac{z}{2(1-z)} \quad (3.8)$$

$$\sum_{i=0}^n p_i^2 = \frac{-z}{1-z} + \frac{1}{\beta(1-z)} \sum_{i=0}^n \pi_i^2 \quad (3.9)$$

式(3.9)を z について解くと式(3.10)が求まる。

$$z = \left(\frac{1}{\beta} \sum_{i=0}^n \pi_i^2 - \sum_{i=0}^n p_i^2 \right) / \left(1 - \sum_{i=0}^n p_i^2 \right) \quad (3.10)$$

3.2.2 Law and Peel の提案する投票券抽出の条件

mop は、ブックメーカーが投票券の発売開始時に設定したオッズ（以下、開始オッズとする）と、競走の発走時刻に設定したオッズ（以下、最終オッズとする）の間の動きを表すパラメータである。ある競走における馬番号*i*の開始オッズを $\omega_i(o)$ 、最終オッズを $\omega_i(s)$ としたときの、 mop の算出式を式(3.11)に示す。

$$mop = \log \left(\frac{\omega_i(s) + 1}{\omega_i(s)} \right) - \log \left(\frac{\omega_i(o) + 1}{\omega_i(o)} \right) \quad (3.11)$$

dz は 3.2.1 で示したモデルに基づくパラメータである。式 (3.10) で示した z の、開始オッズ時と最終オッズ時の差が dz の定義である。なお p_i と β は各競走固有の定数として扱うことができ、 $C = \sum_{i=1}^n p_i^2$ としたとき dz は式 (3.12) で示せる。ここで $\beta > 0, C < 1$ である。

$$dz = \frac{1}{\beta(1-C)} \sum_{i=1}^n \left(\left[\frac{1}{\omega_i(s) + 1} \right]^2 - \left[\frac{1}{\omega_i(o) + 1} \right]^2 \right) \quad (3.12)$$

Law and Peel は $dz > 0$ かつ $mop > 0.05$ のとき、つまり投票券の発売開始時に比べて発売時には出走馬全体のオッズが均一化され、なおかつ個別のオッズが著しく人気方向へシフトした馬に投票することで、期待収益率が 100% を超える結果を得ている。この要因として、競走結果に関する正しい知識を持った投票者による低人気馬への大量投票を受けると、ブックメーカーは損害を受ける可能性を察知し、オッズを人気方向へシフトさせるためとしている。



図 3.1: インサイダー投票によるオッズの変化 ($mop > 0.05$)



図 3.2: インサイダー投票によるオッズ全体の均一化 ($dz > 0$)

3.3 開始オッズの決定およびパラメータの最適化

Law and Peel の手法を、各パラメータを変動させながら J R A が主催した競走に適用することで、期待収益率の評価を行い、パリミュチュエル方式においても知識察知が可能であるかを検証する。パリミュチュエル方式でのオッズは、得票率の逆数に依存するため、開始オッズは一意には決定できない。そこで、全得票数の一定の割合に到達した時点でのオッズを開始オッズと定義し、開始オッズを決定する得票割合を変化させながら収益率の評価をおこなう。

最終的に期待収益率が最大となるよう、投票券抽出に係るパラメータの最適化をおこなう。 mop , dz , および先に述べた得票割合の3変数を持つ期待収益率関数に Simulated Annealing を適用し最適解を導出する。Algorithm 1 に実装したアルゴリズムを示す。Algorithm 1 の7行目にある受理判定は $x_1 < 0$ などの存在しない解を除外するほか、候補解代入フェーズで期待収益率が100%を下回り不適切と認められた解を除外する処理を実装している。

Algorithm 1 Proposed Simulated Annealing Algorithm

```

1: Initialize first feasible solution  $\mathbf{x}$ 
2: Initialize temperature  $T$  as  $T_{int}$ 
3: Not suitable parameter list  $A \leftarrow \{\}$ 
4: while  $T > T_{min}$  do
5:    $i \leftarrow \text{int}(\text{random}(1, 3))$ 
6:    $x_i^* \leftarrow x_i + (\text{random}(-0.5, 0.5))$ 
7:   if  $\mathbf{x}^*$  is not in list  $A$  then
8:      $\Delta_{cost} \leftarrow f(\mathbf{x}^*) - f(\mathbf{x})$ 
9:     if  $\Delta_{cost} > 0$  or  $\exp(-\frac{\Delta_{cost}}{T}) > \text{random}(0,1)$  then
10:       $\mathbf{x} \leftarrow \mathbf{x}^*$ 
11:       $T \leftarrow T * \text{Cooling\_rate}$ 
12:      if  $f(\mathbf{x}) < 100$  then
13:        Append  $\mathbf{x}$  to list  $A$ 
14:      end if
15:    end if
16:  end if
17: end while
18: return  $\mathbf{x}$ 

```

パリミュチュエル方式では、オッズは得票率の逆数に従うため、開始オッズを計測する以前にインサイダー投票者による穴馬への大量投票を受けると、開始オッズは一時的に人気方向に振れ急上昇し、その後最終オッズへ向けて不人気方向へシフトしてゆく。また、各馬のオッズの分布も影響を受け、全体のオッズは均一化に向かってゆく。以上の理由より dz が正かつ mop が負の条件でインサイダー投票者の知識察知ができる可能性がある。

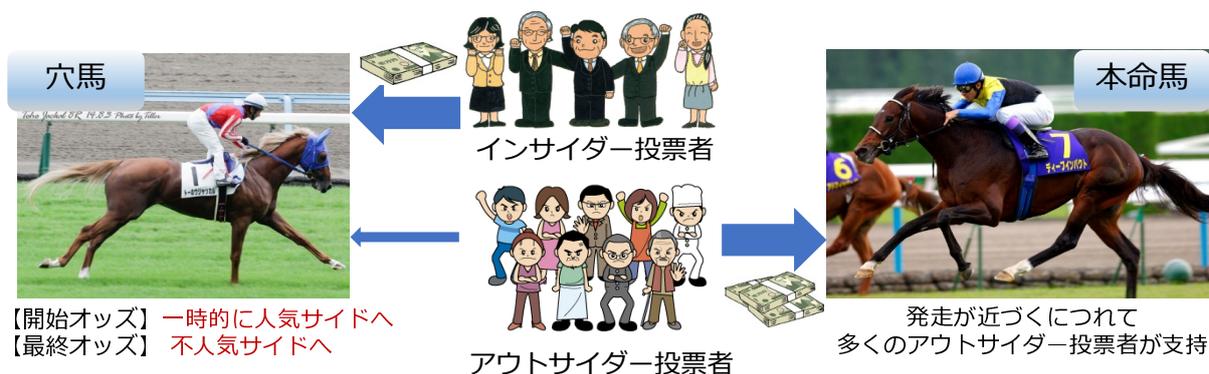


図 3.3: パリミュチュエル方式でのインサイダー投票

第4章 評価実験

4.1 J R A が主催した競走への適用

4.1.1 知識察知に適した競走について

まずは前章の手法による知識察知が可能であるかを確認するため、いくつかの mop , dz の値の範囲に関して、得票割合を変化させてゆくことにより期待収益率の評価を行った。データセットとして 2003 年から 2014 年の J R A による競馬開催日のうち全ての競走、38357 レースでの単勝市場における時系列オッズを用いた。なお、時系列オッズは発売開始時から発走時まで 5-10 分毎に記録されている。

表 4.1: mop , dz の各区分での結果 (全レース対象)

	mop	dz	Horses	Return
1	$mop \geq 0.05$	$dz \geq 0$	~14,000	46-78%
2		$dz < 0$	~9,600	41-88%
3	$0 \leq mop < 0.05$	$dz \geq 0$	~520,000	72-82%
4		$dz < 0$	~86,000	67-96%
5	$-0.05 \leq mop < 0$	$dz \geq 0$	~350,000	60-71%
6		$dz < 0$	~64,000	59-78%
7	$mop < -0.05$	$dz \geq 0$	~8,600	33-98%
8		$dz < 0$	~12,000	58-95%

Law and Peel が論文で行った条件区分を全レースに適用したときの、単勝馬券による期待収益率の結果を表 4.1 に示す。ここで区分 3-6 といった mop の絶対値が小さな条件では、わずかなオッズ変化でも抽出条件が満たされるため、その他の区分に比べ抽出馬が多くなっている。Law and Peel の提案した条件 (区分 1) では期待収益率は芳しくない結果

となったが、Law and Peel とは全く異なる $mop < -0.05$ の条件（区分7および8）で期待収益率が最大95-98%となり良好な結果を得た。なお、JRAでの単勝式の払戻率¹はおよそ80%であり、80%を超えるような収益率を得るのは容易ではない。しかし、表4.1では収益率は最大でも100%を超えず、馬券投資で利潤を得る戦略とまでは至らなかった。本手法ではアウトサイダー投票（広く知られている情報に基づいた投資判断による投票）との対比においてインサイダー投票を察知しており、この結果はアウトサイダー情報の不確かさに起因するとの仮説が考えられる。

ここで対象とした全レースの大半は、賞金が低く注目を集めない“格の低いレース”のため、アウトサイダー投票者が十分に存在せず、信頼性の高い投票行動の集合を観測しにくい。そのためアウトサイダー情報が十分に存在し、様々な媒体で競走馬の情報が伝えられる“格の高いレース”に限定して同様の条件を適用し調査をおこなった。

表 4.2: mop, dz の各区分での結果（1着2千万以上）

	mop	dz	Horses	Return
1	$mop \geq 0.05$	$dz \geq 0$	~490	65-132%
2		$dz < 0$	~420	66-139%
3	$0 \leq mop < 0.05$	$dz \geq 0$	~24,000	75-89%
4		$dz < 0$	~8,500	58-108%
5	$-0.05 \leq mop < 0$	$dz \geq 0$	~22,000	60-83%
6		$dz < 0$	~4,600	38-99%
7	$mop < -0.05$	$dz \geq 0$	~270	28-220%
8		$dz < 0$	~740	31-105%

1着賞金2000万円以上である2200競走について同様の条件を適用し期待収益率を算出したところ、表4.2に示したように5つの区分で期待収益率が100%を超える結果が得られた。前項で述べたようにアウトサイダー投票者が情報を入手しやすいため、本手法での知識察知がより有効となったためであると考えられる。そして期待収益率を左右するパラメータの中でも mop に着目し、開始オッズ決定時の得票割合により抽出される、勝馬投票券の期待収益率および抽出馬の推移について $mop \geq 0.05, 0 \leq mop < 0.05, mop < -0.05$ の3つの

¹2.2.2項を参照

条件で、それぞれグラフを描画し図 4.1 から図 4.3 に示した。

4.1.2 安定的に利潤を得られる投票券抽出条件

表 4.2 で得られた期待収益率が 100% を超える投票券抽出条件である、区分 1, 2, 4 および 8 について開始オッズ決定時の得票割合を変化させながら期待収益率を調査した。

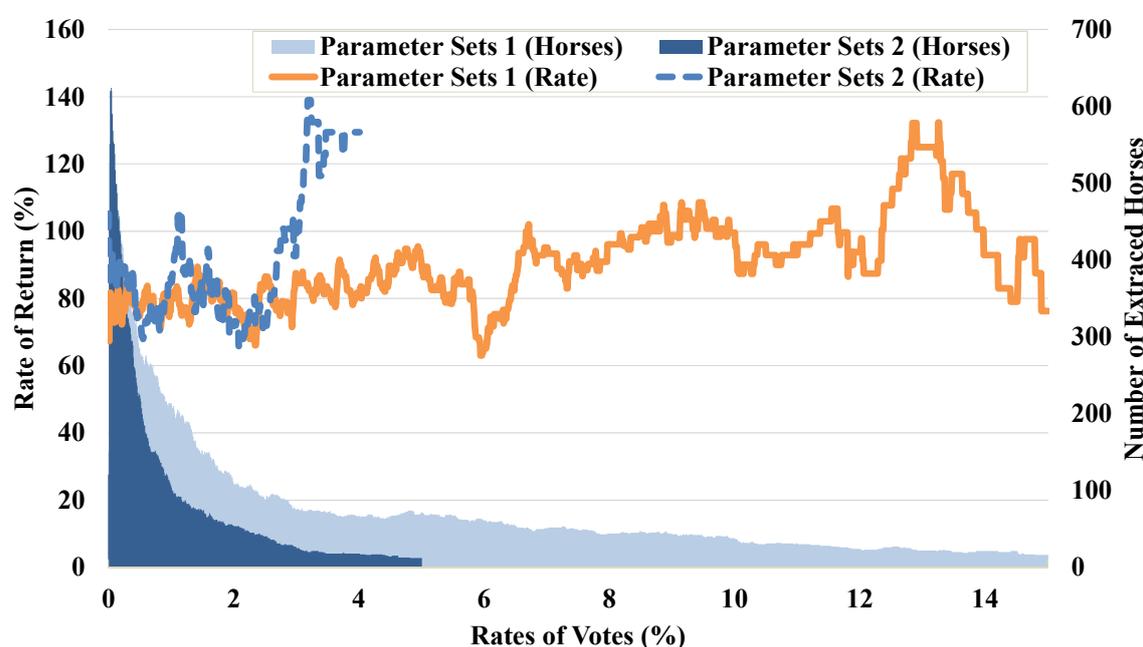


図 4.1: $mop \geq 0.05$ での抽出馬および収益率推移

まず図 4.1 に示したのが $mop \geq 0.05$ (区分 1 および 2) に関する、開始オッズ決定時の得票割合 (横軸) を変化させたときの、期待収益率および抽出馬の推移である。折れ線グラフ (単位: 左軸) が期待収益率であり、棒グラフ (単位: 右軸) が指定条件により抽出された競走馬の頭数である。抽出頭数が極端に少ないと、投資機会に恵まれないうえに 1 頭の高配当馬による影響を大きく受けるため、抽出頭数 20 頭以上を対象にプロットしている。区分 1, 2 共に最大 130% 程度 (抽出馬: 20 頭前後) の期待収益率を得られているものの、利潤を得ることのできる範囲はごく僅かに留まり、どちらも合理的な投資戦略とは言い難い。

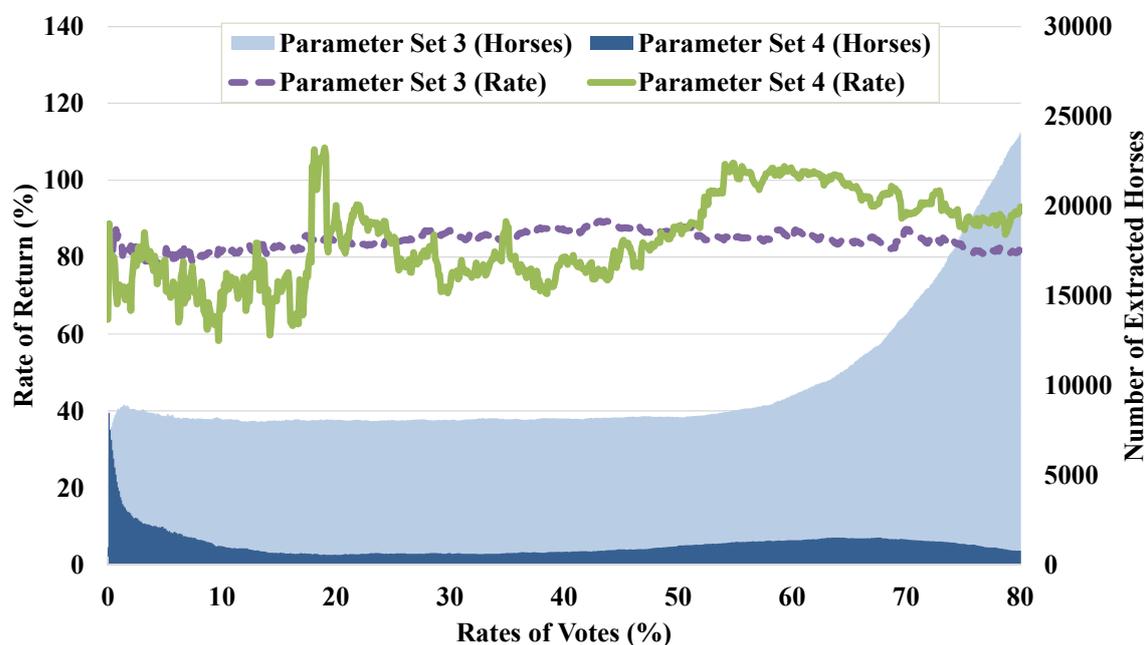


図 4.2: $0 \leq mop < 0.05$ での抽出馬および収益率推移

次に図 4.2 に示したのが $0 \leq mop < 0.05$ (区分 3 および 4) における同様のグラフである。全投票時間を通じて条件に合致する競走馬が抽出されており、本分析では得票割合 80% 未満を解析対象としている。これは、得票割合 80% 以降では投票締切時刻の直前に該当し、現実的に投資判断が可能な時間が残されていないためである。区分 4 では得票割合 19% 付近で最大 108% (抽出馬: 570 頭前後) が得られているが、こちらも利潤を得られる範囲はごく僅かに限られており、合理的な投資戦略とは考えにくい。

図 4.3 に示したのが $dz \geq 0$ に固定したときの $mop < -0.05$ (区分 7) に関する、期待収益率および抽出馬の推移である。区分 7 における得票割合 1.0-2.2% の範囲で収益率が最大 234% (抽出馬: 88 頭) となり、安定的に利潤を得られるパラメータ領域が存在していることがわかる。図 4.4 には収益率を左右する支配的なパラメータと考えられる mop に関する近傍の値 4 つも追加されている。 mop の絶対値が大きいほど、すなわちオッズの変化が大きいほど高い期待収益率が得られる傾向が見て取れ、 $mop \leq -0.07$ の条件では開始オッズ決定時の得票割合 1.5% の条件で最大 368% (抽出馬: 20 頭) となっていることがわかる。以上より、パリミュチュエル方式においても知識察知が可能であることが示唆された。

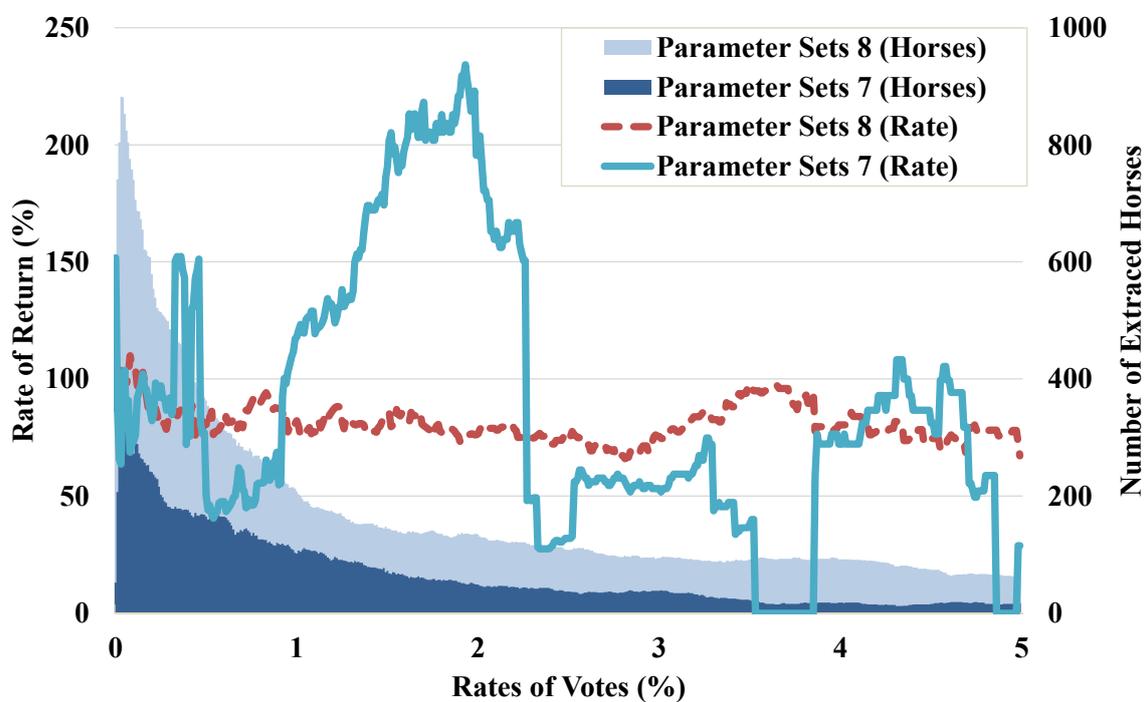


図 4.3: $mop < -0.05$ での抽出馬および収益率推移

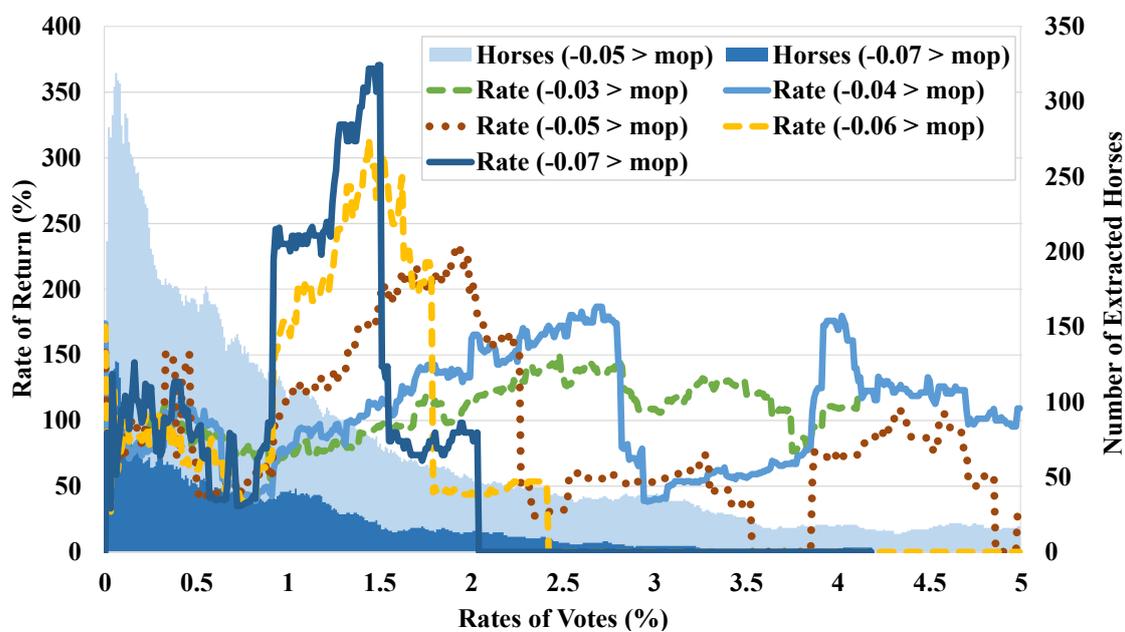


図 4.4: $mop < -0.05$ 近傍での抽出馬および収益率推移

以上の結果は、3.3節で述べたパリミュチュエル方式でのオッズ変化の想定に関する仮説を支持するものである。なお、Law and Peelの手法ではブックメーカーが合理的なオッズを設定することを前提としており、その条件が満たされないときには知識察知を行うことができない。パリミュチュエル方式では同条件が常に成り立つため、より多くの場面で知識察知を行えることが期待される。

4.2 知識察知を行わないときの期待収益率

4.1節での期待収益率を評価するため、知識察知を行わない場合での（アウトサイダー情報のみ用いた）投資判断との比較を行う。本解析では、決定木を用いた分類モデルによる投資判断での期待収益率を算出した。決定木の構築にあたり、2003年から2014年に行われた1着賞金2000万円以上の競走に出走した競走馬34888頭についての競走結果（1着or 2着以下）を目的変数とし、競走馬の成績や属性に関わる38の説明変数を用いて解析を行ったが、構築された決定木に関与する説明変数は6つに留まった。表4.3に用いた説明変数、図4.5に構築した決定木を示す。本分類でのアルゴリズムにはWeka[15]に含まれるJ4.8（C:0.25-M:40）を用いた。10重交差検定による評価を実施し、Precisionは48.7%、Recallは3.2%となった。ここでRecallの精度の悪さが目立つが、勝ち馬を見逃しても収益が負にはならないので、期待収益率への影響は限定的であり本解析では差し障りない。

つぎに図4.5に基づいた投資判断による、1着賞金2000万円以上の競走での収益率評価をおこなったところ、期待収益率は108.0%に留まった。これにより、知識察知による馬券投資の有効性を窺い知ることができる。なお、表4.3中の分類における各用語についてはJRAホームページ²を参照されたい。

²日本中央競馬会: 競馬用語辞典 <http://jra.jp/kouza/yougo/>

表 4.3: 決定木分類で用いた説明変数

連続値		離散値	
本賞金	馬体重	競走馬	年齢限定
取得賞金	馬体重増減	調教師	所属等限定
出走回数	斤量	馬主	性別限定
間隔(週)	斤量体重比	騎手	指定条件
レース No.	単勝オッズ	所属	馬場状態
距離	複勝オッズ	性別	天気
馬番	(上限/下限)	毛色	芝・ダート
枠番	人気順位	クラス名	ブリンカー
馬齢	マイニング	降級戦	
騎手年齢	対戦型	重量種別	

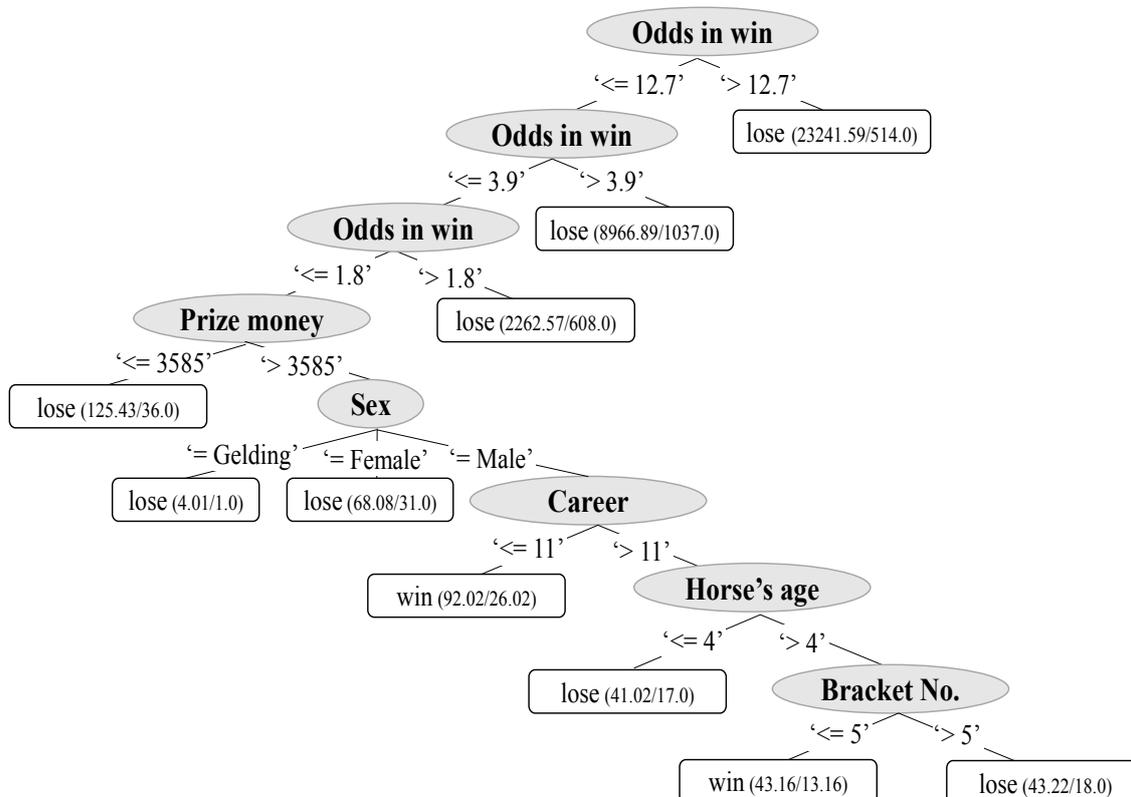


図 4.5: 構築した決定木

4.3 知識察知に係るパラメータの最適化

4.1の実験をもとに期待収益率が最大となるよう、投票券抽出に係るパラメータの最適化をおこなう。

4.3.1 最急降下法の適用

期待収益率が正となる条件の探索を行うために、まずは最急降下法のアルゴリズムを用いた。得票割合 $x_1(\%) = Rate$, オッズの動き $x_2 < mop$, および $x_3 \geq dz$ からなる期待収益率関数 $f(\mathbf{x})$ に最急降下法を適用し, \mathbf{x} を最適解に近づけてゆく。 k 回目の反復で解が $\mathbf{x}^{(k)}$ の位置にあるとき, 式 (4.1) のようにして値を更新する。ここで α は1回に更新する数値の重みを決めるパラメータである。

$$\begin{aligned} \mathbf{x}^{(k+1)} &= \mathbf{x}^{(k)} - \alpha \text{grad}f(\mathbf{x}^k) \\ &= \mathbf{x}^{(k)} - \alpha \begin{bmatrix} \frac{\partial f(\mathbf{x}^k)}{\partial x_1^{(k)}} \\ \frac{\partial f(\mathbf{x}^k)}{\partial x_2^{(k)}} \\ \frac{\partial f(\mathbf{x}^k)}{\partial x_3^{(k)}} \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (4.1)$$

まずは得票割合 $x_1(\%)$ およびオッズの動き $x_2 < mop$ の2つのパラメータの最適化を目指し, 複数の初期値および学習率を与えたが, 遷移先候補の全ての評価値が遷移元より落ちているスポットが多く存在しており, 最適解への収束を観測することはできなかった。

4.3.2 2次元関数の評価による最適化手法検討

大域的最適解を探索するための手掛かりを探るため, 4.1節での調査により最も収益率を左右するに影響が大きいと予想されたパラメータ mop と得票割合 $rate$ の2変数を関数とし, 概形を描画することにより最適化手法の手法の検討を行う。

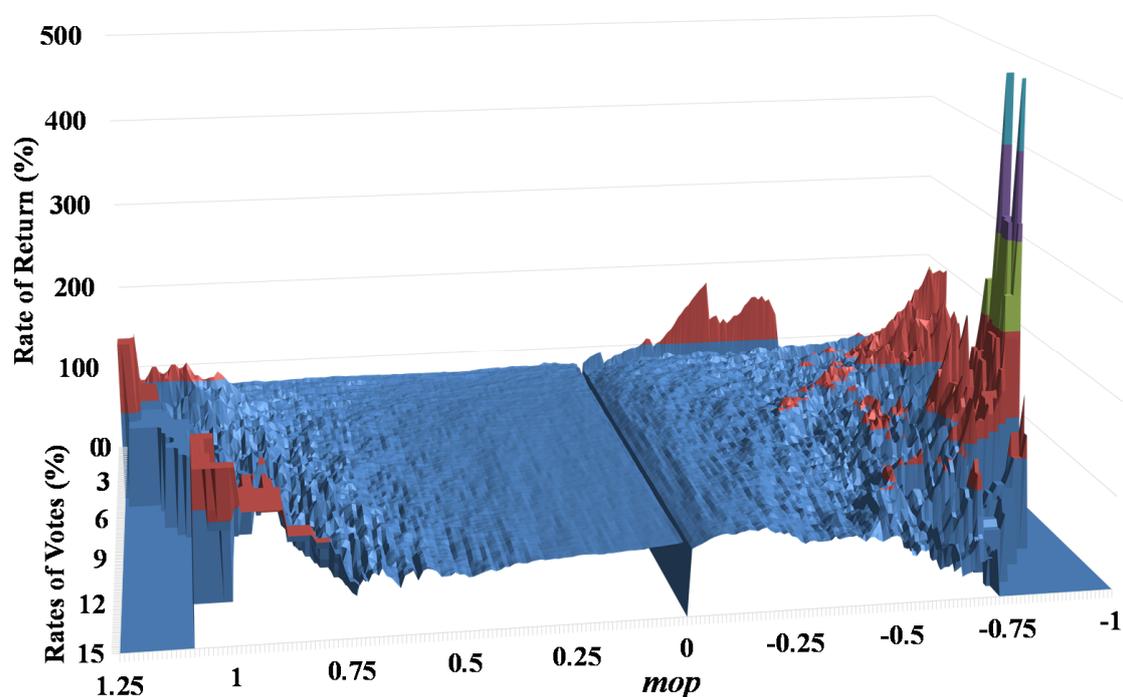


図 4.6: 2変数による期待収益率 (全レース対象)

まず表 4.1, 表 4.2 より区分全体を通して見られた知見を活かし dz を正に固定した状態で 2次元関数の概形を描画した。図 4.6 に示したのが全レース (過去 5 年) を対象としたときの, $-1.00 \leq mop \leq 1.25$ および $0 \leq rate \leq 15$ のグラフである。当然ながら, mop の絶対値が低い領域では大部分の投票券が抽出対象に合致するため, 期待収益率は JRA による控除率を除いた 80% 前後に収束する。そして mop が正に大きい領域では, 得票割合 8% 近傍で最大 500% 程度の収益率が得られているものの, 利潤を得る範囲 (青色以外の部分) はごく僅かな範囲であることが観察でき, 全レース対象では本手法による合理的な投資戦略を得られないという, 前項までの主張を支持する結果となった。

続いて, 1 着賞金 2000 万円以上について同様に概形を描画を行った。開始オッズ決定時の得票割合が大きくなるほど開始オッズが最終オッズに近くなるため, 図 4.7 のように mop の絶対値が大きい領域では条件に合致する投票券が抽出されず, その結果収益率が 0% となっていることが明瞭に示されている。

また得票割合 18% 付近で, 不自然に突出した抽出箇所が存在するが, これは当該時間帯付近で大口投票が行われ, オッズ全体に著しい影響を与えたと考えられる。図 4.8 は図 4.7

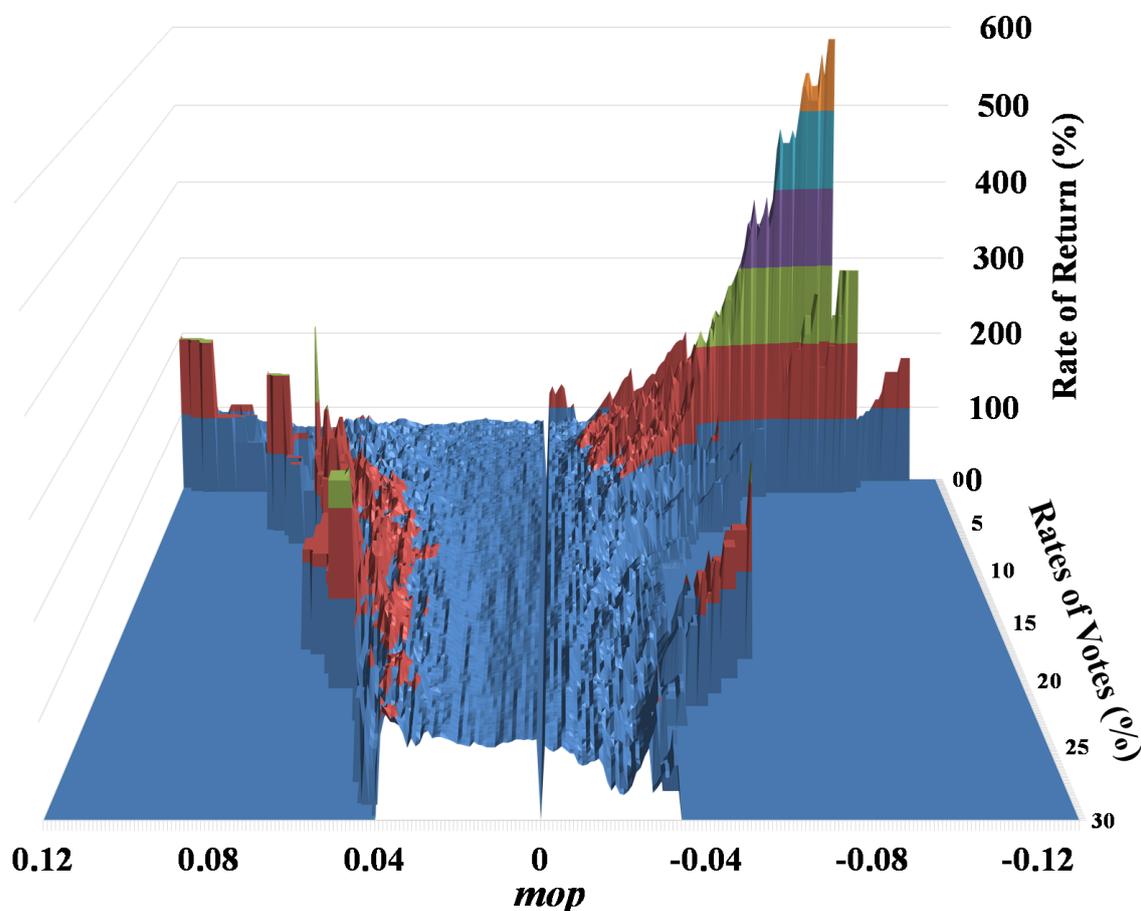


図 4.7: 2変数による期待収益率 (1着 2000万円以上)

を俯瞰する角度を変更したものである。前項において、安定的に利潤を得ることができる抽出パラメータが存在すると見当をつけた箇所と概ね一致したが、評価実験 4.1 で求めた最大収益率を超えるスポットが存在していることが新たに明らかとなった。

図 4.9 に $mop: -0.06$, $rate: 1.2\%$ 付近のピークを拡大した収益率分布を示す。ここで $mop = -0.09$, $rate = 1.01\%$ の条件下で最大収益率 641.8% が得られていることが観測された。概ね単調なピークとなっているものの局所解が多数存在し、単純な最適化手法では最適解への収束が観察できないことが確認できる。

本解析では dz を正に固定し 2次元関数の評価を行ったが、 dz を含め、あらゆるパラメータを含めた最適解の探索を行ってゆく必要がある。次項では Simulated Annealing を適用することにより、3変数以上の最適化を目指す。

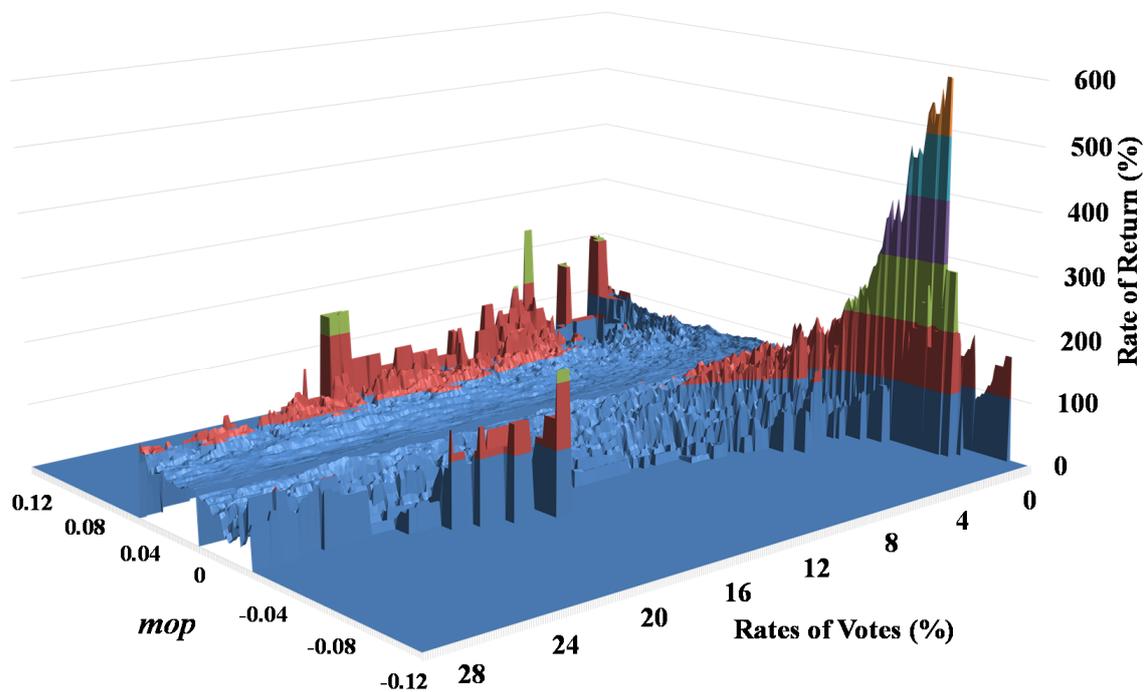


図 4.8: 2変数による期待収益率 (1着 2000万円以上)

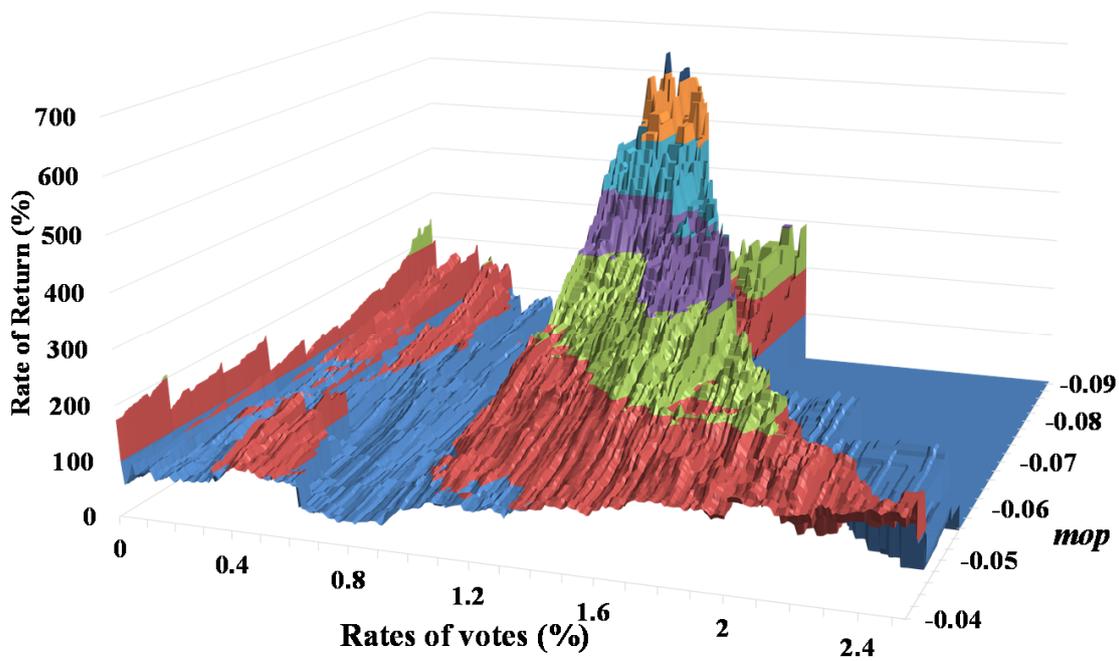


図 4.9: $dz \geq 0$ のときの最適解周辺 (1着 2000万円以上)

4.3.3 Simulated Annealing の適用

$x_1 \sim x_3$ の3変数の最適化に際し, Simulated Annealing の適用を試みた. 得票割合 $x_1(\%) = Rate$, オッズの動き $x_2 < mop$, および $x_3 \geq dz$ からなる期待収益率関数 $f(\boldsymbol{x})$ に Algorithm 1 で示した Simulated Annealing を適用し, \boldsymbol{x} を最適解に近づけてゆく.

$T_{int} = 10000, T_{min} = 0.0001, Cooling_rate = 0.9999$ の条件で, 最適解への収束を観測し $Rate = 0.015\%, mop < -0.11, dz > 0.04$ のとき最大期待収益率は 3670% となった. 最適解付近で抽出された競走には, 全体の 1 割程度しか含まれていない障害競走が比較的多く含まれ, 平地競走に比ベインサイダー投票者が高い割合で関与している可能性が示唆された.

本結果の一般性を確認するため 10 重交差検定による評価を行った. 各訓練フェーズで期待収益率が $x\%$ 以上となる投票券抽出条件を各テストデータに適用したところ, $x = 800$ で平均期待収益率は 189% となり利潤を得られることが確認できた.

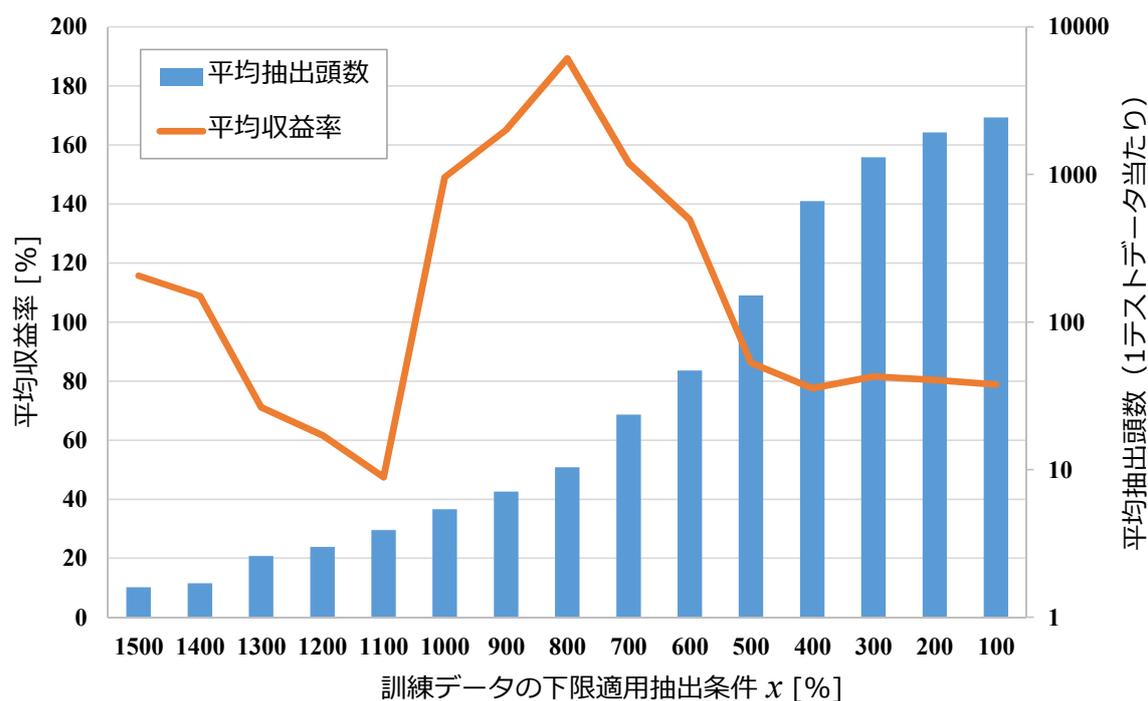


図 4.10: 10 重交差検定での平均期待収益率および平均抽出頭数

図 4.10 に x を変化させたときの平均期待収益率および平均抽出頭数を示す. $x > 1000$ の領域では安定的に利潤を得られないのは, 各テストデータには本節で導出した最適戦略を

満たす競走馬が僅かしか存在せず、インサイダー投票を検知できる機会は稀だからである。また、 $x < 500$ の領域では条件に合致する競走馬が過剰に抽出されることにより、期待収益率は控除率を除いた 80%前後となった。

第5章 考察

5.1 インサイダー投票者の投票行動

これまでの結果で示したとおり，本研究で察知可能なインサイダー投票者の投票行動は投票率1%-3%といった，投票時間帯のうちでも比較的早い時間帯に行われることが特徴である．比較的早い時間，つまりその時点の得票数が少ないほど大口投票による不自然なオッズが顕著に現れ，アウトサイダー投票者から見た本命馬のオッズが不人気方向へシフトする．そして，アウトサイダー投票者の購買意欲を刺激することにより，最終オッズでは結果的にアウトサイダー投票者から見た本命馬が過大評価され，大口投票を受けた当該馬は過小評価となる．このような時間帯に大口投票を行うインサイダー投票者は，以上のようなメカニズムを想定し，より大きな利潤を獲得することを目論んでいると考えられる．

しかし投票締切時刻の直前に投票を行う合理性も存在する．まず，投票締切時刻の直前であれば，他者による大量の投票が行われており，多少の特異的投票も大多数のデータに埋もれ，その発覚により不法な投票行動などのあらぬ嫌疑をかけられる可能性は低い．そして，早い時間帯に穴馬に大量投票を行うことはアウトサイダー投票者の「タダ乗り行動」を招く可能性があり，締切時刻直前の投票によりそれを防ぐ狙いも考えられる．つまり，アウトサイダー投票者から当該馬に関する何らかの勝利要素を不自然なオッズより察知され，同様の投票行動を行われることにより自らが得るべき利潤を横取りされる可能性を想定すると，締切時刻直前の投票も合理的である．

以上のように知識察知ができることを前提とした投票行動が行われたときには，提案手法は有効でない可能性がある．締切時刻直前のインサイダー投票も察知する必要があるものの，本手法では一定の得票割合を超えた時刻以降に行われたインサイダー投票は察知できない．本手法では，アウトサイダー投票に対してインサイダー投票が一定比率以上となる時間帯の存在が前提となるが，締切時刻直前でインサイダー投票が行われた場合には大

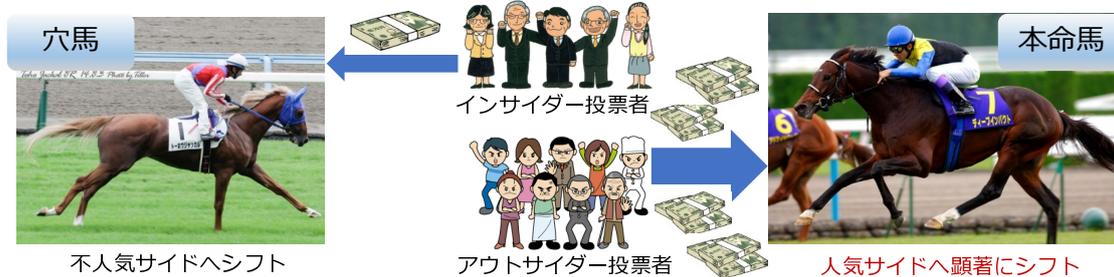
量のアウトサイダー投票に埋もれてしまうため、その前提が満たされずインサイダー投票を見抜くことは困難となる。今後は、締切時刻直前の時系列オッズに含まれるインサイダー投票を見抜くさらなる手法の改良が求められる。

なお、本提案手法では全得票数および最終オッズが既知であるレースのみを対象としており、実際の運用には全得票数および最終オッズの推定方法について議論をしてゆく必要がある。

【Ⅰ】 開始オッズ計測時



【Ⅱ】 本命馬への投票意欲を刺激



【Ⅲ】 最終オッズ時点

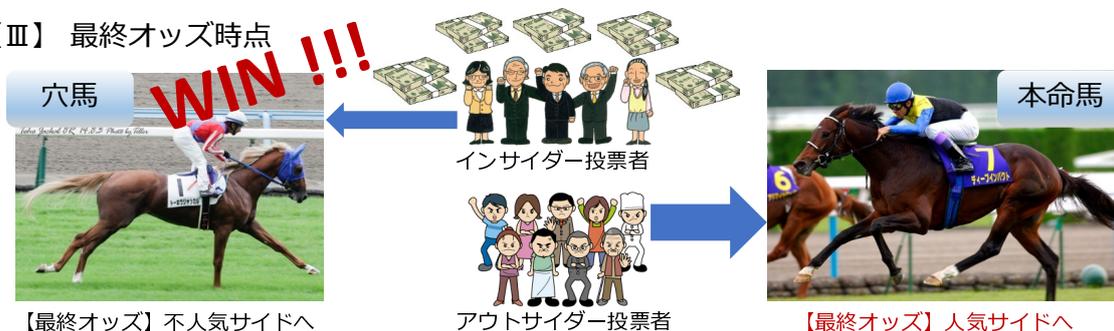


図 5.1: インサイダー投票者の意図

5.2 投票ペースの考慮について

図4.4における得票割合1%未満の範囲において期待収益率が芳しくない理由として、それぞれの得票割合に達するタイミングが競走のクラス（格付け）によって異なっている可能性が考えられる。そのため、1着賞金2000万円以上の2200レースに関して、得票割合0.5-1.5%にそれぞれ達する時間についての調査をおこなった。

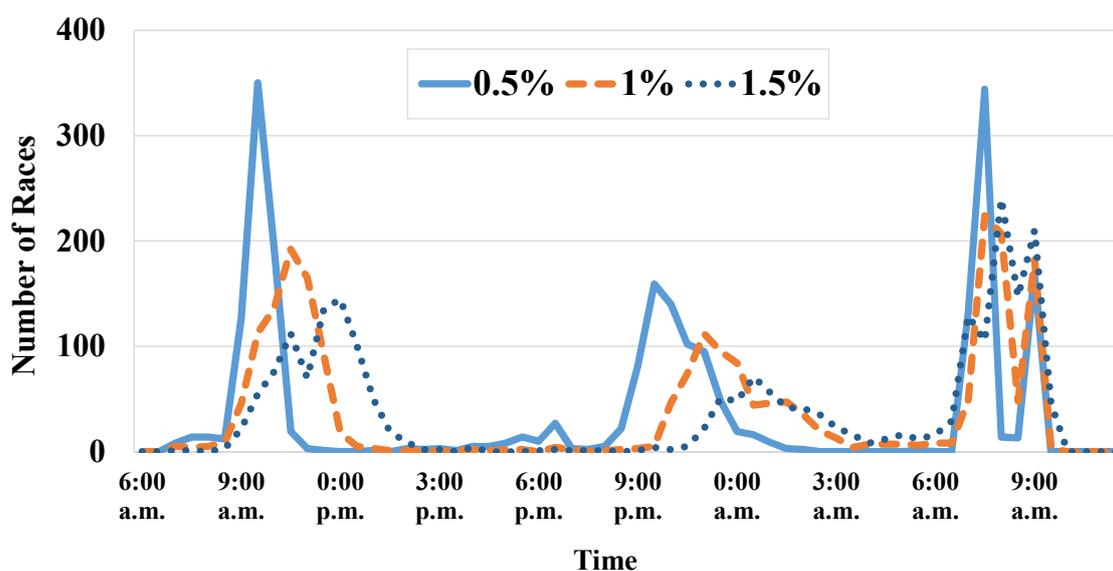


図 5.2: 各得票割合に達する時間帯

図5.2は得票数が各割合に達する時間帯を示したグラフで、横軸が各得票割合に達する時間帯、縦軸が各得票割合に達した競走の数である。3つの時間帯グループ(1) 前日6時-16時 (2) 前日16時-当日5時 (3) 当日5時-12時に大別できることがわかる。

図5.3は時間帯グループ別での期待収益率を示したグラフである。図5.2および図5.3より時間帯(2)に該当する開催前日16時-当日5時でのオッズを開始オッズとしたときに、より知識察知に成功していることが明らかとなった。表5.1を参照すると、これは格の高い重賞等の競走を除いた中規模のレースに対応することがわかる。この理由として、比較的中規模のレース（1着賞金2500万円前後）では、前日～当日朝の比較的早い時間帯での素人投票者によるアウトサイダー情報のみに基づいた投票が行われず、インサイダー投票者による投票を顕著に窺い知ることができ、より有効な知識察知ができたためと考えられる。

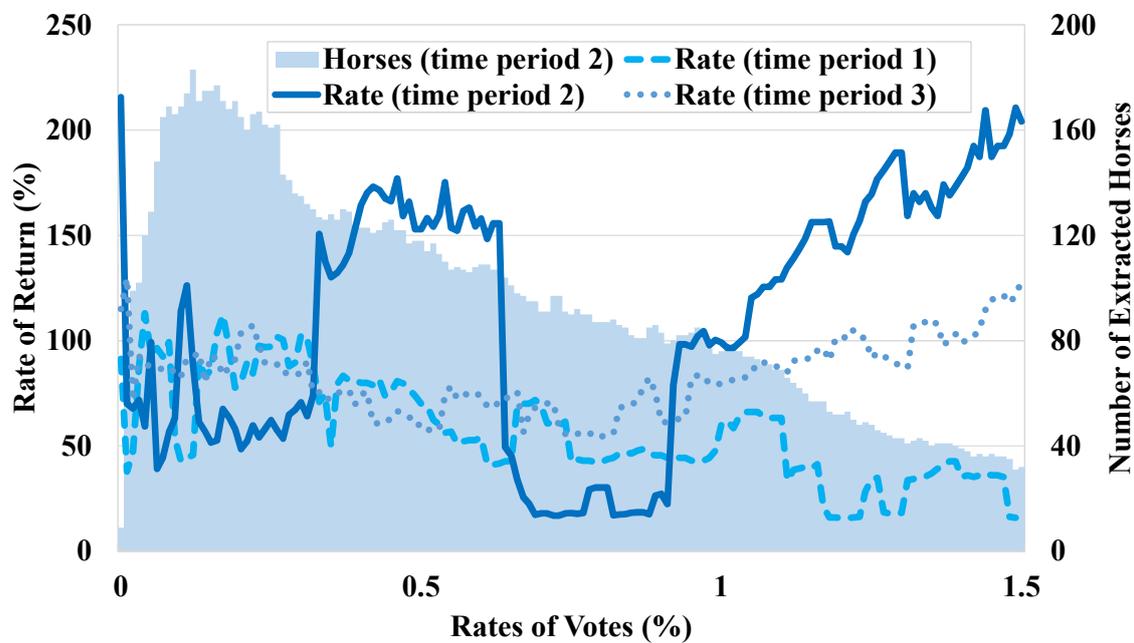


図 5.3: 時間帯グループ別での期待収益率

表 5.1: 時間帯グループ (1)~(3) に含まれる競走の情報

	0.5%	1.0%	1.5%
抽出馬 (頭)	(1) 73 (2) 118 (3) 104	(1) 63 (2) 76 (3) 84	(1) 43 (2) 32 (3) 68
平均値 (万円)	(1) 5285 (2) 2675 (3) 3338	(1) 5660 (2) 2701 (3) 3342	(1) 6014 (2) 2559 (3) 3497
中央値 (万円)	(1) 4100 (2) 2300 (3) 2400	(1) 4300 (2) 2400 (3) 3150	(1) 5300 (2) 2300 (3) 3250

5.3 他のドメインへの適用可能性

研究対象を競馬オッズデータに留まらず、他のドメインにも広げることで、提案手法の一般性を探る。本節では投票行動が公に利用できる代表的なドメインである株式市場への適用を試みる。競馬市場でのインサイダー投票の痕跡となる時系列オッズに対応するものとして、株式市場の出来高を分析対象とし、株価予測に関わる有利な情報を持った投資家による株の売買の痕跡を検知する知識察知を目指す。

5.3.1 株式投資での知識察知

株価の大幅な上下落発生前に、株価予測に関わる有利な情報を持った投資家が存在した可能性がある事案として、大企業の間で2015年立て続けに発生した不祥事である、株式会社東芝〈6502.T〉による「不正会計処理問題」および旭化成株式会社〈3407.T〉による「杭打ち施工データ偽装問題」を対象とする。それぞれ、不正発覚の第一報前後で大幅な株価の下落が認められたが、公式発表以前より当該事件を関知していた投資家が一定数存在していたならば、彼らは自らの株を手放すことにより出来高に影響を与え、知識察知の余地があったものと考えられる。そこで各問題の第一報（東芝：4月3日、旭化成：10月15日）が報じられる前後3か月間の出来高のデータを解析することにより、株式投資での知識察知の可能性を調査した。

本調査では特異的な出来高データの検出として、直近 N 取引日の移動平均からの相違が $\pm k\sigma$ 以上（ σ は標準偏差）となった取引日を対象とする。ここで東証一部の総出来高を考慮することにより、市場全体が各出来高に及ぼす影響を考慮する。当日の各出来高を V 、東証一部全体の出来高を S 、および i 日目の出来高を V_i 、 S_i としたときの検出条件を満たす条件を式 (5.2) に示す。

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{V_i}{S_i} - \frac{V}{S} \right)^2} \quad (5.1)$$

$$\left| \frac{V}{S} - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{V_i}{S_i} \right| > k\sigma \quad (5.2)$$

表 5.2: 東芝 (6502.T) での特異的な出来高検出日

取引日	V/S	k	関連する報道
2015年7月6日	2.70	5.62	修正額は1000億円超か ⁴
2015年6月19日	2.59	3.50	
2015年5月12日	15.6	40.6	3年で500億円強修正 ³
2015年5月11日	1.92	4.21	決算発表を延期 ²
2015年4月23日	1.53	4.34	
2015年4月6日	5.72	7.79	不適切会計の疑い ¹ (第一報)
2015年3月20日	3.05	6.49	【不祥事を関知できうる事案あり】
2015年3月17日	1.91	4.64	
2015年3月3日	1.42	4.23	
2015年1月13日	2.39	6.43	

表 5.3: 旭化成 (3407.T) での特異的な出来高検出日

取引日	V/S	k	関連する報道
2015年11月25日	1.51	6.62	杭偽装360件, 61人が関与 ⁶
2015年10月15日	2.96	49.2	旭化成建材, 改ざんの跡 ⁵ (第一報)
2015年8月4日	0.468	3.18	【不祥事を関知できうる事案あり】

$N = 10, k = 3$ のときに式 (5.2) を満たす各企業の検出日を表 5.2, 表 5.3 に示す. 表 5.2 の東芝は第一報以降, 不正が報じられる毎に表 5.2 を満たすようになり株価に影響を与える一方で, 第一報より前の 3 月 20 日には $k = 6.49$ となり「インサイダー投資家」による特異的な売り行動が疑われる. なお, 本件発覚以前の 2 月 12 日には証券取引等監査委員会

¹朝日新聞デジタル: 東芝 3 月期決算、不適切処理疑い 調査委を設置 (2015) <http://www.asahi.com/articles/DA3S11687320.html>

²朝日新聞デジタル: 東芝が決算発表を延期 (2015) <http://www.asahi.com/articles/DA3S11743650.html>

³朝日新聞デジタル: 決算不適切処理、3 年で 500 億円強 (2015) <http://www.asahi.com/articles/DA3S11752147.html>

⁴朝日新聞デジタル: 東芝、不適切会計 1 千億円超か (2015) <http://www.asahi.com/articles/ASH73759BH73ULFA02C.html>

⁵朝日新聞デジタル: 傾きマンション、杭施工記録に改ざんの跡 旭化成子会社 (2015) <http://www.asahi.com/articles/ASHBG4VXPHBGULOB014.html>

⁶朝日新聞デジタル: 杭偽装 360 件、61 人関与 旭化成建材、3052 件の調査終了 (2015) <http://www.asahi.com/articles/DA3S12084519.html>

による検査¹が行われるなど、一部の投資家が本事実を関知する余地はあったものと考えられる。

表 5.3 の旭化成では、子会社である旭化成建材の不正が取り沙汰された 10 月 15 日のほか、8 月 4 日に $k = 3.2$ となっており特異的な売り行動が疑われる。こちらも夏ごろに販売会社の三井不動産レジデンシャルによるボーリング調査²が行われており、本事実も同様に関知していた投資家は存在したのと考えられる。

以上の例より、株式市場においても株価予測に関わる有利な情報を持った投資家による株の売買の痕跡を検知する知識察知の可能性が示唆された。

5.3.2 知識察知の応用例

知識察知を投資判断に用いる他に応用できる事例について考察する。2015 年 11 月 26 日、旧村上ファンドの村上世彰元代表が株価を意図的に下げ、金融商品取引法違反の疑いにより証券取引等監視委員会から摘発されたとの報道が行われた³。容疑ではアパレル大手の、株式会社 T S I ホールディングス (3608.T) の株式について、2014 年 6 月から 7 月にかけて証券会社などから株式を借りて大量売却を行い、その株が値下がりした後に買い戻す「空売り」と呼ばれる手法を悪用して、数千万円の不正利益を得ていたとされる。以上のような例は、知識察知を証券取引の監視等へ活用できる一例と考えることができる。

¹日本経済新聞: 不適切会計、テレビでも 総会で東芝社長陳謝 (2015) http://www.nikkei.com/markets/features/36.aspx?g=DGXLASGD24H5G_25062015MM0000

²産経ニュース: 【横浜マンション傾斜】「大震災でずれ」販売者が当初説明、調査に 1 年 (2015) <http://www.sankei.com/affairs/print/151016/afr1510160028-c.html>

³産経ニュース: 不正利益、数千万円か「空売り」悪用 監視委、村上氏ら任意聴取 (2015) <http://www.sankei.com/affairs/news/151127/afr1511270001-n1.html>

第6章 結論および今後の課題

本稿では、JRAが主催した競走への競馬ファンによる得票データを解析対象とし、インサイダー投票者がオッズの変化を促した可能性が高い勝馬投票券の抽出を試みた。ブックメーカー方式に基づく先行研究での既存手法をパリミュチュエル方式に対応させる手法を提案し、投票券抽出に係るパラメータの最適化に Simulated Annealing を適用することにより、1着賞金 2000 万円以上のレースに関して収益率が最大 3670%となる条件が存在することがわかり、知識察知の可能性が明らかとなった。

比較実験としてアウトサイダー情報のみを用いた投資判断による収益率評価を行い、知識察知の有効性を確認した。また評価実験での収益率が芳しくない得票割合の範囲をふまえ、競走のクラスを考慮した戦略の立案を考察した。他の公に利用可能なデータへの適用を目指すため、株式市場の出来高のみから投資判断を行うことにより、株価予測に関わる有利な情報を持った投資家による株の売買の痕跡を検知する知識察知の可能性が示唆された。

今後は投票券抽出に係るパラメータを増やして大域的最適解を見つけることで、よりコンスタントに利潤を得る投資戦略の提案を目指したい。最終的には一般的な賭事での合理的な意思決定戦略を獲得するための様々なヒューリスティクスを勘案し、提案手法の広範な有効性を実証してゆきたい。

謝辞

本研究を行うにあたり、ご多忙の中、有益なコメントと適切なアドバイスを下さった、大須賀昭彦教授、田原康之准教授、山本佳世子准教授に感謝いたします。折原良平客員教授、清雄一助教にはご多忙の中、週1回のゼミを初めとして熱心な研究指導を賜り、貴重な勉強の機会を与えてくださったことに厚く御礼申し上げます。

特に折原良平客員教授には一対一でのゼミにおいて研究アプローチの提案、専門知識のレクチャー、論文執筆など本研究全般にわたり懇切丁寧にご指導を賜りました。心より感謝申し上げます。利百合子秘書には事務手続き等で大変お世話になりました。まことに有難うございました。

本研究を遂行するにあたり、日本中央競馬会様より多くの公表データをご提供いただき、深く感謝しております。最後に日々の生活の中で励まし応援してくれた方々に感謝の意を表します。

2016年1月

参考文献

- [1] Williams, V., and Siegel, S.: *The Oxford Handbook of The Economics of Gambling*, Oxford University Press (2014)
- [2] Davoodi, E., and Khanteymoori, A.: Horse Racing Prediction Using Artificial Neural Networks, *Proc. of the 11th WSEAS International Conference on Neural Networks*, pp.155-160 (2010)
- [3] Williams, J., Li, Y.: A Case Study Using Neural Network Algorithms: Horse Racing Predictions in Jamaica, *International Conference on Artificial Intelligence* (2008)
- [4] Lessmann, S., et al.: Identifying winners of competitive events: A SVM-based classification model for horserace prediction, *European Journal of Operational Research*, Vol.196, No.2, pp.569-577 (2009)
- [5] Pudaruth, S., et al.: Generating Horse Racing Tips at the Champs De March Using Fuzzy Logic, *International Journal of Computer Science And Technology*, Vol.4, pp.7-11 (2013)
- [6] Pudaruth, S., et al.: Horse Racing Prediction at the Champ De Mars using a Weighted Probabilistic Approach, *International Journal of Computer Applications*, Vol.72, No.5, pp.39-42 (2013)
- [7] Chen, H., et al.: Expert Prediction, Symbolic Learning, and Neural Networks: An Experiment on Greyhound Racing, *IEEE Intelligent Systems*, Vol.9, No.6, pp.21-27 (1994)

- [8] Kou-Yuan Huang, et al.: A neural network method for prediction of 2006 World Cup Football Game, International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN), pp.1-8 (2010)
- [9] Law, D., and Peel, A.: Insider trading, herding behaviour, and market plungers in the British horse race betting market, *Economica*, Vol.69, pp.327-338 (2002)
- [10] 芦谷政浩: 「穴馬への過剰な選好 (longshot bias)」に関するサーベイ, 国民経済雑誌, Vol.202, No.2, pp.13-28 (2010)
- [11] 小幡績, 太宰北斗: 競馬とプロスペクト理論: 微小確率の過大評価の実証分析, 行動経済学会機関誌, Vol.7, pp.1-18 (2014)
- [12] 守真太郎, 久門正人: 競馬予想とは何か-競馬ファンの集合知と機械学習による予想の間に横たわるもの, ネットワークが創発する知能研究会 (JWEIN10) (2010)
- [13] Mori, S., and Hisakado, M.: Component Ratios of Independent and Herding Bettors in a Racetrack Betting Market, preprint arXiv:1006.4884 (2010)
- [14] H., S., Shin: Measuring the Incidence of Insider Trading in a Market for State-Contingent Claims, *The Economic Journal*, Vol.103, No.420, pp.1141-1153 (1993)
- [15] Hall, M., et al.: The WEKA Data Mining Software: An Update, SIGKDD Explorations, Vol.11, No.1 (2009)

研究業績

論文誌

○ 樋口尚吾, 折原良平, 清雄一, 田原康之, 大須賀昭彦: 競馬時系列オッズデータ解析に基づく意思決定戦略の分析, 人工知能学会論文誌 エージェント技術とその応用 特集号 (査読審査中)

国際会議

○ Shogo Higuchi, Ryohei Orihara, Yuichi Sei, Yasuyuki Tahara and Akihiko Ohsuga: Decision Making Strategy Based on Time Series Data of Voting Behavior, Proc. of 28th Australasian Joint Conference on Artificial Intelligence 2015 (AI 2015), Vol.9457 of Lecture Notes in Artificial Intelligence (LNAI), pp.229-241 (2015.12)

査読付き国内シンポジウム・ワークショップ

○ 樋口尚吾, 折原良平, 清雄一, 田原康之, 大須賀昭彦: 投票行動時系列データ解析に基づく意思決定戦略の分析, 合同エージェントワークショップ&シンポジウム 2015 (JAWS 2015), pp.290-297 (2015.10) **JAWS2015 「奨励賞」**

研究会

○ 樋口尚吾, 折原良平, 清雄一, 田原康之, 大須賀昭彦: 投票行動時系列データ解析に基づく意思決定戦略に関する考察, 電子情報通信学会 人工知能と知識処理研究会, 信学技報 AI2015-2, Vol.115, No.97, pp.7-11 (2015.6)

付録

本文に掲載しなかった考察（5.3節）の詳細資料を付録として掲載する。表の項目については5.3.1項を参照。

表 6.1: 東芝〈6502.T〉の出来高一覧

取引日	始値	終値	出来高 (V)	V/S(%)	k	関連する報道
2015年7月24日	384	387.5	31,388,000	1.746	-1.481	
2015年7月23日	388	389.7	82,870,000	4.502	0.595	
2015年7月22日	404.7	393.1	124,680,000	5.769	1.812	
2015年7月21日	390.4	399.9	138,538,000	7.002	6.633	記者会見・社長辞任
2015年7月17日	368.1	376.8	68,086,000	3.635	1.535	
2015年7月16日	373.1	369.3	66,854,000	3.142	1.009	
2015年7月15日	382	374.9	56,579,000	2.767	0.728	
2015年7月14日	375	381.7	69,840,000	2.836	0.981	
2015年7月13日	370	372.5	79,245,000	3.859	3.061	
2015年7月10日	389.8	377.2	73,110,000	2.647	1.787	
2015年7月9日	380	386.3	89,378,000	2.408	1.760	日経1面に意図的操作
2015年7月8日	405.2	394.7	61,862,000	1.936	1.147	
2015年7月7日	412	407.5	37,653,000	1.691	0.796	
2015年7月6日	405	412	65,226,000	2.698	5.627	1500億円規模に拡大
2015年7月3日	421.4	423.4	24,653,000	1.132	-0.246	
2015年7月2日	422	417.6	17,851,000	0.797	-0.907	
2015年7月1日	422.6	419.5	16,695,000	0.771	-1.037	
2015年6月30日	415.3	421	24,176,000	0.935	-0.748	
2015年6月29日	411	415.9	24,983,000	0.984	-0.808	
2015年6月26日	426	422	32,756,000	1.495	0.167	
2015年6月25日	429.1	429.5	31,752,000	1.526	0.307	
2015年6月24日	429.2	429.8	21,219,000	0.807	-1.167	
2015年6月23日	422.4	429.8	38,709,000	1.367	-0.020	

表は次ページに続く

前ページからの続き

取引日	始値	終値	出来高 (V)	V/S(%)	k	関連する報道
2015年6月22日	427.1	425.8	27,338,000	1.338	-0.191	
2015年6月19日	435	426.8	62,267,000	2.588	3.495	
2015年6月18日	432.9	430	17,542,000	0.867	-1.219	
2015年6月17日	438	435.2	18,770,000	0.994	-1.002	
2015年6月16日	439.5	440.4	21,429,000	1.074	-0.944	
2015年6月15日	433.6	444.7	32,632,000	1.915	0.358	
2015年6月12日	437	437.5	43,310,000	1.614	-0.172	
2015年6月11日	442.7	441.4	23,305,000	1.100	-0.764	
2015年6月10日	441	442.8	26,458,000	1.044	-0.860	
2015年6月9日	450	441.9	29,369,000	1.241	-0.724	
2015年6月8日	454.2	452.8	41,371,000	1.954	-0.064	
2015年6月5日	448	449.7	26,749,000	1.147	-1.050	
2015年6月4日	450	449	24,119,000	0.967	-1.345	
2015年6月3日	446.1	450.7	32,140,000	1.335	-1.126	
2015年6月2日	451	449.7	49,591,000	1.789	-0.693	
2015年6月1日	450	450	98,422,000	3.952	2.271	
2015年5月29日	419.7	435.7	108,255,000	3.289	0.745	有報提出延長承認
2015年5月28日	414.2	415.7	49,349,000	1.582	-0.743	
2015年5月27日	410.6	411.6	32,219,000	1.263	-1.012	
2015年5月26日	410.1	410.5	33,989,000	1.776	-0.847	
2015年5月25日	406	409.9	63,143,000	3.076	-0.507	
2015年5月22日	406	411	48,422,000	2.334	-0.626	調査対象拡大 ¹
2015年5月21日	410	409.5	34,487,000	1.366	-0.835	
2015年5月20日	410	407.6	67,318,000	2.618	-0.504	
2015年5月19日	417.5	409.9	64,180,000	2.484	-0.491	
2015年5月18日	404.8	416.1	88,829,000	3.213	-0.275	
2015年5月15日	426	411.6	129,731,000	5.090	0.193	第三者委員選任
2015年5月14日	441	426.3	234,885,000	9.122	1.222	
2015年5月13日	402	422.8	255,939,000	9.168	1.523	500億円強修正
2015年5月12日	380	400.7	424,881,000	15.556	40.612	
2015年5月11日	403.3	403.3	55,648,000	1.923	4.207	ストップ安
2015年5月8日	479.6	483.3	21,664,000	0.845	-0.500	決算発表延期
2015年5月7日	476	481.6	28,025,000	1.185	1.165	

表は次ページに続く

¹映像・半導体・パソコン部門に対して

前ページからの続き

取引日	始値	終値	出来高 (V)	V/S(%)	k	関連する報道
2015年5月1日	480	482.5	19,658,000	0.881	-0.317	
2015年4月30日	491.4	481.2	28,195,000	1.037	0.507	
2015年4月28日	487.5	491.7	14,719,000	0.705	-0.947	
2015年4月27日	493.5	491.1	16,723,000	0.894	-0.121	
2015年4月24日	493.7	491.2	18,190,000	0.850	-0.429	
2015年4月23日	485.3	495.8	42,018,000	1.528	4.335	
2015年4月22日	485	483	25,831,000	0.924	-0.159	
2015年4月21日	483	484.9	17,294,000	0.753	-0.962	
2015年4月20日	476	479.5	17,419,000	0.836	-0.503	
2015年4月17日	481.5	478.6	24,504,000	0.913	-0.471	
2015年4月16日	480	481.6	27,043,000	1.065	-0.389	
2015年4月15日	485	482	14,943,000	0.765	-0.644	
2015年4月14日	485	485	11,687,000	0.674	-0.772	
2015年4月13日	485	484.8	15,504,000	0.911	-0.641	
2015年4月10日	487.9	483.2	23,308,000	1.139	-0.584	
2015年4月9日	487.7	486.1	21,136,000	1.063	-0.739	
2015年4月8日	493	485.8	33,880,000	1.479	-0.487	
2015年4月7日	487	492.7	37,522,000	1.791	-0.264	
2015年4月6日	480	487.4	91,098,000	5.721	7.794	
2015年4月3日	513.2	512.4	20,355,000	1.188	-1.264	特別調査委設置
2015年4月2日	505.3	512.6	33,159,000	1.389	-0.787	
2015年4月1日	504.9	501.1	30,603,000	1.219	-1.107	
2015年3月31日	520	504.2	30,626,000	1.295	-1.145	
2015年3月30日	513.4	509.2	28,770,000	1.369	-0.889	
2015年3月27日	517.5	513.2	70,133,000	2.731	1.511	
2015年3月26日	529.8	531.5	49,659,000	2.160	0.745	
2015年3月25日	525	531.5	48,608,000	2.265	1.108	
2015年3月24日	515	519.6	41,793,000	1.998	0.851	
2015年3月23日	510	513.6	37,168,000	1.971	0.944	
2015年3月20日	489.4	506.5	64,978,000	3.050	6.487	
2015年3月19日	482.2	483.9	21,571,000	0.952	-0.720	
2015年3月18日	486	482.7	28,834,000	1.410	0.985	
2015年3月17日	480	488	37,045,000	1.907	4.639	
2015年3月16日	480.4	476.2	19,581,000	0.990	-0.433	

表は次ページに続く

前ページからの続き

取引日	始値	終値	出来高 (V)	V/S(%)	k	関連する報道
2015年3月13日	477.2	479.1	38,511,000	1.204	0.834	
2015年3月12日	479.2	476.4	22,644,000	1.037	0.058	
2015年3月11日	475.1	476.3	17,454,000	0.906	-0.563	
2015年3月10日	481.8	476.9	22,013,000	1.030	0.109	
2015年3月9日	483.2	478	23,854,000	1.327	1.925	
2015年3月6日	481.4	487.4	22,001,000	1.034	0.541	
2015年3月5日	483.2	485	15,175,000	0.832	-0.476	
2015年3月4日	486	486.8	19,503,000	0.912	-0.146	
2015年3月3日	498	487	32,914,000	1.421	4.234	
2015年3月2日	496	498	21,389,000	0.986	0.709	
2015年2月27日	495.1	494.4	29,714,000	1.092	0.931	
2015年2月26日	488.3	492.8	16,921,000	0.707	-1.321	
2015年2月25日	500	492.5	19,487,000	0.881	-0.453	
2015年2月24日	490	498.7	20,308,000	0.875	-0.411	
2015年2月23日	493.2	490	17,604,000	0.706	-1.252	
2015年2月20日	484.5	490.1	20,549,000	0.854	-0.495	
2015年2月19日	486.3	483.8	21,869,000	0.824	-0.618	
2015年2月18日	474.9	482.1	29,236,000	1.073	0.739	
2015年2月17日	470.1	473.2	18,596,000	0.803	-0.502	
2015年2月16日	477	472	26,376,000	1.069	0.282	
2015年2月13日	485.3	474	34,857,000	1.360	1.416	
2015年2月12日	490.5	486.5	33,908,000	1.223	1.147	あり (2月12日) ²
2015年2月10日	479.1	482.5	18,107,000	0.903	-0.053	
2015年2月9日	480.9	479.1	15,478,000	0.771	-0.417	
2015年2月6日	481.5	476.4	15,788,000	0.714	-0.733	
2015年2月5日	480.8	476.3	21,505,000	0.813	-0.562	
2015年2月4日	473.2	475.8	21,558,000	0.791	-0.780	
2015年2月3日	469.5	467.1	18,872,000	0.684	-1.160	
2015年2月2日	467.7	468.2	18,145,000	0.790	-0.841	
2015年1月30日	487	474.6	46,075,000	1.723	2.483	
2015年1月29日	470.7	463.9	22,774,000	0.944	-0.289	
2015年1月28日	471	474.4	18,962,000	0.820	-0.879	

表は次ページに続く

²証券取引監視委開示検査が行われたとの報道あり：【日本経済新聞】不適切会計、テレビでも総会で東芝社長陳謝 (2015) http://www.nikkei.com/markets/features/36.aspx?g=DGXLASGD24H5G_25062015MM0000

前ページからの続き

取引日	始値	終値	出来高 (V)	V/S(%)	k	関連する報道
2015年1月27日	476.9	475.5	24,932,000	1.140	-0.100	
2015年1月26日	470.4	475.2	10,704,000	0.582	-1.558	
2015年1月23日	477.5	478.4	23,164,000	1.111	-0.293	
2015年1月22日	468.6	473.5	29,086,000	1.476	0.565	
2015年1月21日	476.3	469.5	30,180,000	1.380	0.411	

以上

表 6.2: 旭化成〈3407.T〉の出来高一覧

取引日	始値	終値	出来高 (V)	V/S(%)	k	関連する報道
2015年12月22日	782.5	789.3	6,443,000	0.326	-1.706	
2015年12月21日	764.6	796.3	13,596,000	0.577	0.451	
2015年12月18日	785.3	808.9	13,323,000	0.446	-0.678	
2015年12月17日	794	806.7	12,529,000	0.557	0.108	
2015年12月16日	770	781.7	12,075,000	0.567	0.127	
2015年12月15日	795	797.5	17,511,000	0.847	1.811	
2015年12月14日	791.1	802.7	8,726,000	0.428	-0.965	
2015年12月11日	788	809.8	10,806,000	0.449	-0.964	
2015年12月10日	788.1	804.6	8,166,000	0.438	-1.018	
2015年12月9日	795	805.3	9,043,000	0.443	-1.152	
2015年12月8日	824.4	824.8	12,141,000	0.632	-0.641	
2015年12月7日	829.1	832.3	5,960,000	0.360	-1.734	
2015年12月4日	832.2	833.9	14,778,000	0.722	-0.545	
2015年12月3日	829.6	840.6	9,912,000	0.532	-1.198	
2015年12月2日	849.6	850	12,061,000	0.635	-0.749	
2015年12月1日	841	858.9	18,682,000	0.911	0.159	
2015年11月30日	826.7	842.1	19,677,000	0.798	-0.082	
2015年11月27日	845.1	848.1	19,463,000	1.051	0.728	
2015年11月26日	817	846.5	27,791,000	1.488	2.617	
2015年11月25日	772.5	812.9	30,270,000	1.508	6.615	杭偽装 360 件に ³
2015年11月24日	788.6	790	13,401,000	0.650	0.695	
2015年11月20日	762.2	777.4	16,669,000	0.904	2.211	
2015年11月19日	755.8	764	11,865,000	0.571	-0.113	
2015年11月18日	749.9	758.1	12,927,000	0.667	0.101	
2015年11月17日	744.9	752	9,280,000	0.412	-1.102	
2015年11月16日	735	743.3	8,479,000	0.474	-0.986	
2015年11月13日	746.4	749.6	12,531,000	0.564	-0.753	
2015年11月12日	750.5	758.3	9,607,000	0.458	-1.301	
2015年11月11日	744.8	759	8,664,000	0.406	-1.912	
2015年11月10日	744.1	749.7	10,289,000	0.497	-1.722	
2015年11月9日	741	758.1	14,358,000	0.571	-1.883	
2015年11月6日	742	750	19,662,000	0.966	-0.461	

表は次ページに続く

³過去10年間に杭を打った3052件のうち360件で偽装があり、61人が関与したと発表

前ページからの続き

取引日	始値	終値	出来高 (V)	V/S(%)	k	関連する報道
2015年11月5日	710	733	22,319,000	0.910	-0.711	
2015年11月4日	720	733.7	31,215,000	1.158	-0.397	
2015年11月2日	730	738.6	19,647,000	0.905	-0.888	
2015年10月30日	721.4	746.5	18,580,000	0.696	-1.366	国交省立入り検討 ⁴
2015年10月29日	739.0	733.8	37,503,000	1.376	-0.645	複数物件で発覚
2015年10月28日	777.0	775.1	13,820,000	0.804	-1.114	
2015年10月27日	769.7	768.0	17,448,000	0.919	-0.842	物件名を提供 ⁵
2015年10月26日	750.0	767.8	27,999,000	1.546	-0.097	
2015年10月23日	748.7	735.3	23,698,000	1.114	-0.378	一転して情報提供
2015年10月22日	727.2	735.3	29,572,000	1.605	0.129	
2015年10月21日	730.0	741.4	51,210,000	2.414	0.947	
2015年10月20日	720.0	700.5	59,399,000	3.334	2.260	外部委立ち上げ ⁶
2015年10月19日	753.2	730.0	50,952,000	2.717	2.290	
2015年10月16日	777.7	798.2	36,283,000	1.786	1.565	全国調査へ ⁷
2015年10月15日	812.7	792.7	64,541,000	2.961	49.159	旭化成建材が改竄
2015年10月14日	925.0	917.7	3,939,000	0.162	-1.342	マンション傾く ⁸
2015年10月13日	920.9	930.8	4,887,000	0.231	-0.105	
2015年10月9日	898.1	929.6	6,215,000	0.244	0.010	住民説明会
2015年10月8日	904.6	892.9	5,208,000	0.225	-0.291	
2015年10月7日	894.8	904.6	8,269,000	0.355	2.766	
2015年10月6日	882.6	875.4	3,930,000	0.161	-1.718	
2015年10月5日	862.7	872.5	3,116,000	0.164	-2.170	
2015年10月2日	842.0	850.2	3,857,000	0.204	-1.146	
2015年10月1日	833.2	849.1	6,111,000	0.264	0.181	
2015年9月30日	832.4	840.0	5,821,000	0.225	-0.685	
2015年9月29日	849.8	825.0	6,667,000	0.239	-0.528	
2015年9月28日	872.0	858.6	5,512,000	0.285	0.288	
2015年9月25日	884.0	873.5	8,146,000	0.308	0.849	
2015年9月24日	888.0	881.5	5,149,000	0.217	-0.448	
2015年9月18日	917.1	903.0	4,526,000	0.188	-1.014	

表は次ページに続く

⁴旭化成建材、さらに数十件、国交省立ち入り検査検討⁵物件名を都道府県に提供⁶旭化成・建材社長が記者会見、外部委立ち上げ⁷旭化成建材、全国調査へ／三井不動産、建て替え検討⁸第1報：発端は昨年11月？三井住友建設が施工し三井不動産が販売

前ページからの続き

取引日	始値	終値	出来高 (V)	V/S(%)	k	関連する報道
2015年9月17日	910.4	922.7	4,454,000	0.231	-0.302	
2015年9月16日	924.5	917.2	4,463,000	0.236	-0.176	
2015年9月15日	920.2	922.1	4,763,000	0.229	-0.321	あり (9月中旬頃) ⁹
2015年9月14日	946.2	919.0	7,085,000	0.384	2.712	
2015年9月11日	904.0	916.2	9,148,000	0.325	2.253	
2015年9月10日	911.2	914.8	6,843,000	0.280	1.541	
2015年9月9日	889.0	937.2	8,198,000	0.293	2.566	
2015年9月8日	880.1	866.9	3,393,000	0.152	-1.798	
2015年9月7日	869.9	878.8	3,912,000	0.164	-1.875	
2015年9月4日	896.8	874.0	6,865,000	0.259	1.100	
2015年9月3日	913.2	892.7	4,316,000	0.194	-0.901	
2015年9月2日	901.1	899.8	6,095,000	0.207	-0.665	
2015年9月1日	945.0	916.1	6,789,000	0.255	0.303	
2015年8月31日	974.6	968.4	4,396,000	0.178	-1.279	
2015年8月28日	965.5	983.7	5,481,000	0.185	-1.388	
2015年8月27日	948.7	940.3	6,570,000	0.233	-0.519	
2015年8月26日	911.0	933.7	7,425,000	0.215	-0.679	
2015年8月25日	937.3	911.0	13,150,000	0.277	0.236	
2015年8月24日	959.0	952.3	9,138,000	0.231	-0.437	
2015年8月21日	1000.0	997.9	7,212,000	0.261	-0.052	
2015年8月20日	1,016.00	1,037.00	7,784,000	0.368	1.692	
2015年8月19日	1,034.00	1,029.00	4,476,000	0.213	-0.851	
2015年8月18日	1,043.00	1,043.00	4,138,000	0.230	-0.752	
2015年8月17日	1,040.50	1,041.50	3,369,000	0.197	-1.218	
2015年8月14日	1,038.50	1,034.00	5,578,000	0.272	-0.427	
2015年8月13日	1,015.00	1,039.00	10,157,000	0.420	1.620	
2015年8月12日	1,000.00	1,007.50	4,469,000	0.176	-1.743	
2015年8月11日	1,011.50	1,011.50	5,710,000	0.235	-1.117	
2015年8月10日	1,012.00	1,003.00	5,624,000	0.257	-0.745	
2015年8月7日	1,018.00	1,012.50	6,430,000	0.278	-0.416	

表は次ページに続く

⁹2014年11月に住民が三井不動産レジデンシャルにずれを指摘、2015年夏ごろに販売会社の三井不動産レジデンシャルによるボーリング調査実施を決定、8月上旬頃に住民が横浜市に相談し同市の担当者が約2センチのずれを確認、9月中旬頃に三井不動産レジデンシャルが調査結果を横浜市に報告：産経ニュース【横浜マンション傾斜】「大震災でずれ」販売者が当初説明、調査に1年(2015) <http://www.sankei.com/affairs/print/151016/afr1510160028-c.html>

前ページからの続き

取引日	始値	終値	出来高 (V)	V/S(%)	k	関連する報道
2015年8月6日	1,015.00	1,014.50	7,551,000	0.301	-0.120	
2015年8月5日	975	1,010.50	9,497,000	0.368	0.745	あり (8月上旬頃) ⁹
2015年8月4日	973.9	970.9	11,148,000	0.468	3.181	
2015年8月3日	948.9	958.9	5,796,000	0.240	-1.154	
2015年7月31日	949.3	942.2	8,836,000	0.344	0.856	
2015年7月30日	945	951.3	5,573,000	0.214	-2.214	
2015年7月29日	940.3	940.3	6,398,000	0.315	0.216	
2015年7月28日	929.2	937.5	7,621,000	0.352	1.207	
2015年7月27日	930	932.3	4,326,000	0.229	-2.296	
2015年7月24日	948	937.6	4,618,000	0.257	-1.223	あり (夏ごろ) ⁹
2015年7月23日	948.1	943.7	5,751,000	0.312	0.105	
2015年7月22日	963	936	8,304,000	0.384	2.221	
2015年7月21日	968	966.9	5,966,000	0.302	-0.015	
2015年7月17日	975	966.7	5,382,000	0.287	-0.078	
2015年7月16日	966.6	975.6	7,312,000	0.344	1.012	
2015年7月15日	944.1	955	6,374,000	0.312	0.675	
2015年7月14日	948.6	944	6,679,000	0.271	0.234	
2015年7月13日	935	933.6	6,478,000	0.315	0.892	
2015年7月10日	924.8	921.4	9,897,000	0.358	1.824	
2015年7月9日	915	935.3	8,149,000	0.220	-0.383	
2015年7月8日	982.6	941.1	9,089,000	0.284	0.490	
2015年7月7日	993	982.6	5,281,000	0.237	-0.167	
2015年7月6日	985	972.7	9,539,000	0.395	1.721	
2015年7月3日	1,003.00	1,000.50	4,050,000	0.186	-1.012	
2015年7月2日	1,005.50	1,001.00	4,445,000	0.199	-1.043	
2015年7月1日	1,005.00	1,002.50	2,823,000	0.130	-2.504	
2015年6月30日	1,010.00	1,005.50	5,238,000	0.203	-1.739	
2015年6月29日	1,010.00	1,013.00	6,653,000	0.262	-0.967	
2015年6月26日	1,010.00	1,041.00	5,419,000	0.247	-1.490	
2015年6月25日	1,034.00	1,018.50	6,811,000	0.327	0.079	
2015年6月24日	1,034.50	1,041.00	7,914,000	0.301	-0.159	
2015年6月23日	1,010.00	1,022.50	6,911,000	0.244	-0.953	
2015年6月22日	1,048.50	1,021.00	8,934,000	0.437	2.095	
2015年6月19日	985	1,004.00	8,233,000	0.342	0.672	

表は次ページに続く

前ページからの続き

取引日	始値	終値	出来高 (V)	V/S(%)	k	関連する報道
2015年6月18日	996.5	986.1	6,712,000	0.332	0.660	
2015年6月17日	1,017.50	999.9	7,952,000	0.421	2.447	
2015年6月16日	1,023.00	1,012.00	5,121,000	0.257	0.191	
2015年6月15日	1,024.50	1,023.00	5,513,000	0.323	1.244	
2015年6月12日	1,042.50	1,034.00	9,712,000	0.362	2.383	
2015年6月11日	1,052.00	1,055.00	4,188,000	0.198	-0.112	
2015年6月10日	1,056.00	1,043.00	5,519,000	0.218	0.281	
2015年6月9日	1,063.50	1,056.00	6,510,000	0.275	1.393	
2015年6月8日	1,074.50	1,071.00	6,204,000	0.293	2.255	
2015年6月5日	1,096.50	1,074.50	7,411,000	0.318	7.100	
2015年6月4日	1,116.50	1,100.50	4,199,000	0.168	0.335	
2015年6月3日	1,118.00	1,111.00	3,556,000	0.148	-0.724	
2015年6月2日	1,123.00	1,123.00	3,103,000	0.112	-4.257	
2015年6月1日	1,104.00	1,129.50	4,926,000	0.198	2.268	
2015年5月29日	1,100.00	1,104.50	4,967,000	0.151	-0.616	
2015年5月28日	1,115.00	1,107.00	5,303,000	0.170	0.168	
2015年5月27日	1,098.50	1,110.00	3,979,000	0.156	-0.514	
2015年5月26日	1,104.00	1,097.00	3,235,000	0.169	-0.187	
2015年5月25日	1,106.50	1,110.00	3,631,000	0.177	0.262	
2015年5月22日	1,109.00	1,106.00	3,689,000	0.178	0.391	
2015年5月21日	1,111.00	1,108.00	3,821,000	0.151	-0.270	
2015年5月20日	1,124.50	1,114.50	4,472,000	0.174	0.355	
2015年5月19日	1,118.00	1,115.00	4,333,000	0.168	0.190	
2015年5月18日	1,120.00	1,122.50	3,409,000	0.123	-1.101	
2015年5月15日	1,104.00	1,109.00	3,680,000	0.144	-0.740	
2015年5月14日	1,102.00	1,090.50	5,652,000	0.220	0.584	
2015年5月13日	1,100.00	1,119.50	5,017,000	0.180	-0.076	
2015年5月12日	1,149.00	1,120.50	6,383,000	0.234	1.002	
2015年5月11日	1,141.50	1,143.00	2,738,000	0.095	-1.871	
2015年5月8日	1,125.50	1,129.50	3,380,000	0.132	-1.378	
2015年5月7日	1,114.50	1,118.00	3,637,000	0.154	-1.029	
2015年5月1日	1,120.00	1,124.50	3,300,000	0.148	-1.312	
2015年4月30日	1,143.50	1,132.00	4,657,000	0.171	-0.911	
2015年4月28日	1,150.50	1,164.00	4,642,000	0.222	0.415	

表は次ページに続く

前ページからの続き

取引日	始値	終値	出来高 (V)	V/S(%)	k	関連する報道
2015年4月27日	1,155.00	1,149.50	3,815,000	0.204	-0.113	
2015年4月24日	1,133.50	1,154.50	6,718,000	0.314	4.538	
2015年4月23日	1,135.00	1,133.50	4,641,000	0.169	-1.441	
2015年4月22日	1,134.00	1,134.00	4,493,000	0.161	-1.962	
2015年4月21日	1,113.50	1,122.00	4,840,000	0.211	-0.263	
2015年4月20日	1,095.00	1,103.50	4,303,000	0.206	-0.227	
2015年4月17日	1,118.50	1,109.00	5,088,000	0.190	-0.709	
2015年4月16日	1,130.00	1,126.00	4,554,000	0.179	-1.005	
2015年4月15日	1,135.50	1,133.00	4,529,000	0.232	0.154	
2015年4月14日	1,154.00	1,144.00	3,240,000	0.187	-0.935	
2015年4月13日	1,156.50	1,147.00	4,083,000	0.240	0.087	
2015年4月10日	1,171.00	1,156.50	4,499,000	0.220	-0.378	
2015年4月9日	1,181.50	1,169.00	3,899,000	0.196	-1.020	
2015年4月8日	1,153.00	1,171.50	6,197,000	0.270	0.353	
2015年4月7日	1,153.00	1,146.00	5,605,000	0.267	0.137	
2015年4月6日	1,140.00	1,144.00	2,595,000	0.163	-2.069	
2015年4月3日	1,152.00	1,159.00	3,280,000	0.191	-1.445	
2015年4月2日	1,133.00	1,147.00	4,292,000	0.180	-1.679	
2015年4月1日	1,134.50	1,127.50	8,253,000	0.329	0.116	
2015年3月31日	1,192.00	1,149.00	6,997,000	0.296	-0.112	
2015年3月30日	1,171.50	1,170.50	5,059,000	0.241	-0.616	
2015年3月27日	1,154.00	1,160.50	6,724,000	0.262	-0.395	
2015年3月26日	1,200.50	1,176.50	6,689,000	0.291	-0.040	
2015年3月25日	1,211.00	1,212.00	6,360,000	0.296	0.070	
2015年3月24日	1,231.00	1,208.50	7,197,000	0.344	0.614	
2015年3月23日	1,231.00	1,237.00	4,852,000	0.257	-0.119	
2015年3月20日	1,248.00	1,228.00	10,010,000	0.470	2.263	
2015年3月19日	1,243.50	1,253.50	12,032,000	0.531	11.898	
2015年3月18日	1,229.50	1,232.50	3,746,000	0.183	-1.783	
2015年3月17日	1,225.50	1,225.00	3,954,000	0.204	-1.085	
2015年3月16日	1,239.50	1,225.00	4,528,000	0.229	0.084	
2015年3月13日	1,249.00	1,244.00	7,699,000	0.241	0.036	
2015年3月12日	1,225.00	1,237.00	4,370,000	0.200	-1.043	
2015年3月11日	1,227.50	1,224.50	4,307,000	0.224	-0.678	

表は次ページに続く

前ページからの続き

取引日	始値	終値	出来高 (V)	V/S(%)	k	関連する報道
2015年3月10日	1,245.00	1,235.00	3,884,000	0.182	-1.729	
2015年3月9日	1,240.00	1,235.00	4,493,000	0.250	-0.547	
2015年3月6日	1,225.00	1,245.00	5,595,000	0.263	-0.313	
2015年3月5日	1,222.50	1,221.00	4,163,000	0.228	-0.911	
2015年3月4日	1,207.50	1,213.00	4,757,000	0.223	-1.153	
2015年3月3日	1,220.00	1,221.50	5,513,000	0.238	-0.884	
2015年3月2日	1,235.50	1,225.50	4,864,000	0.224	-0.807	
2015年2月27日	1,222.00	1,236.00	9,774,000	0.359	1.603	
2015年2月26日	1,202.50	1,214.50	6,747,000	0.282	0.426	
2015年2月25日	1,222.50	1,205.50	7,224,000	0.326	1.418	
2015年2月24日	1,235.00	1,217.00	8,844,000	0.381	4.296	
2015年2月23日	1,220.00	1,230.00	6,813,000	0.273	0.916	
2015年2月20日	1,199.00	1,205.50	6,364,000	0.264	0.645	
2015年2月19日	1,174.50	1,196.50	5,769,000	0.217	-0.448	
2015年2月18日	1,176.50	1,158.50	7,277,000	0.267	0.805	
2015年2月17日	1,177.50	1,154.50	5,690,000	0.246	0.382	
2015年2月16日	1,190.00	1,173.00	3,616,000	0.147	-2.219	
2015年2月13日	1,182.00	1,170.50	5,336,000	0.208	-0.319	
2015年2月12日	1,200.00	1,189.50	6,336,000	0.228	0.113	
2015年2月10日	1,178.50	1,177.00	4,294,000	0.214	-0.190	
2015年2月9日	1,169.00	1,170.50	4,381,000	0.218	-0.039	
2015年2月6日	1,150.00	1,160.00	7,130,000	0.322	2.211	
2015年2月5日	1,158.00	1,134.50	7,492,000	0.283	1.750	
2015年2月4日	1,172.50	1,166.50	6,606,000	0.242	0.869	
2015年2月3日	1,196.00	1,157.00	5,419,000	0.196	-0.287	
2015年2月2日	1,167.00	1,195.00	5,135,000	0.224	0.429	
2015年1月30日	1,163.00	1,172.00	5,079,000	0.190	-0.370	
2015年1月29日	1,160.00	1,155.50	3,013,000	0.125	-2.880	
2015年1月28日	1,154.00	1,166.50	4,915,000	0.213	-0.170	
2015年1月27日	1,163.50	1,161.50	4,902,000	0.224	0.045	
2015年1月26日	1,135.50	1,147.50	3,370,000	0.183	-1.155	
2015年1月23日	1,123.50	1,148.50	6,195,000	0.297	3.159	
2015年1月22日	1,120.00	1,115.00	3,993,000	0.203	-0.353	

以上