

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 10 日現在

機関番号：32657

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011 ～ 2012

課題番号：23700277

研究課題名（和文） アブダクティブ推論に基づく市場暴落の数理モデルと仮想市場を用いた認知実験の構成

研究課題名（英文） Mathematical Model of Stock Market Crash Based on Abductive Reasoning and Development of Cognitive Experiment on Virtual Market

研究代表者

上浦 基 (KAMIURA MOTO)

東京電機大学理工学部・助教

研究者番号：10516181

研究成果の概要（和文）：人間は日常生活の中で様々な推論を行うが、そこでは確実性が保証された演繹的推論ばかりではなく、ときには間違いも含まれる不確実な推論も行われており、C.S.Peirce によって研究が開始されたアブダクションもそういった不確実な推論の一種である。研究代表者はアブダクションの概念を出発点として、本研究を通して次のような成果を得た。

(1) 演繹・帰納・アブダクションという推論の3形式に対応する構造が、線形システムとそれに対する一般化されたパラメータ推定が成す Adjoint の中に存在することを明らかにした。

(2) アブダクティブパラメータ推定(APE)の提案および APE に基づく擬似株価予測実験の研究を行った。APE とはパラメータ推定とある種の不確実性を含む推論であるアブダクションとを結びつけた概念である。我々は APE を AR 過程に適用することにより推定パラメータの分布として Gauss 分布, Cauchy 分布, およびその中間的分布が得られることの数値的および解析的証明を行った。また、株価の暴騰・暴落は上記のメカニズムに関わる経済現象であるとの仮説を立て、Pawelzik らのターゲット追尾実験からヒントを得た擬似株価予測実験を 142 人の被験者に対して行い、株価変動分布の特徴である Gauss 分布と Cauchy 分布の中間的性質を持つ分布を得た。これらの結果は、学術雑誌論文 3 件（うち国際学会 Proceeding 1 件）、学会発表 12 件によって公表した。本研究の一部は第 12 回計測自動制御学会 SI 部門講演会において優秀講演賞を受賞した。さらに本研究の成果に基づき、研究代表者は平成 25 年度東北大学電気通信研究所共同プロジェクト研究の参加が決定するなど評価を受けた。

研究成果の概要（英文）：Abduction, which is articulated by C.S. Peirce, is one of the forms of inference with logical uncertainty. I studied statistic feature of stock market derived from abduction as human cognitive bias, and I got the following conclusions.

(1) There exists correspondence relation between the three forms of reasoning (i.e. deduction, induction and abduction) and adjoint structures based on linear systems and generalized parameter estimation.

(2) I proposed abductive parameter estimation (APE) and studied a cognitive experiment of pseudo stock market prediction based on APE concept. APE applied to autoregressive process derives Gaussian, Cauchy and their intermediate distribution. These results are supported analytically. I proposed a hypothesis which connects distributions of stock market returns to the intermediate distribution derived from abduction as a human cognitive bias. We arranged a cognitive experiment, which 142 subjects try to predict time series as pseudo stock market dynamics, motivated by Pawelzik's experiments. As a result, we obtained an experimental distribution which conforms to one of stock market returns.

These achievements were published by 3 articles (including 1 proceeding of international conference) and 12 verbal presentations in academic conferences. I was awarded the prize of excellence presentation in the 12th Conference of SICE-SI. Moreover, I join the Cooperative Research Project Program of the Research Institute of Electrical

Communication, Tohoku University, based on these achievements.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	900,000	270,000	1,170,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・ソフトウェア・コンピューティング

キーワード：複雑系

1. 研究開始当初の背景

我々は日常生活の中で様々な推論を行うが、その中には確実性が保証された演繹的推論ばかりではなく、ときには間違いも起こる不確実な推論が含まれており、アブダクティブ推論はそういった不確実な推論の一種である。通常の論理学における推論（演繹的推論）は、含意（ \rightarrow ）が持つ推移性に基づいており、 $A \rightarrow B$ と $B \rightarrow C$ から $A \rightarrow C$ を導く。これに対して、我々が日常生活で行う様々な推論の中には、確実性が保証された演繹的推論ばかりではなく、ときには間違いも起こる不確実な推論が含まれている。例えば「タマは猫である」と「猫はニャーと鳴く」を仮定して「タマはニャーと鳴く」を導く演繹的推論に対して、「タマはニャーと鳴く」と「猫はニャーと鳴く」を仮定して「タマは猫である」を導いてしまうこと（すなわち $B \rightarrow C$ と $A \rightarrow C$ から $A \rightarrow B$ を導いてしまうこと）が起こり得る。古典論理学において後件肯定の誤謬と呼ばれるこの推論形式を、アブダクティブ推論として積極的に評価したのは哲学者の C.S. Peirce である。アブダクティブ推論は不確実性を伴う推論であるものの、人間はアブダクティブ推論を有効に利用しながら日常の意思決定を行う。このため、アブダクティブ推論は人工知能をはじめとする情報科学分野でも定式化され研究されてきた。

人間の認知過程としての推論は経済現象にも大きな影響を与える。Mantegna と Stanley が提案した経済物理学では、株価変動の分布の非 Gauss 性や裾における冪法則が指摘され、統計力学の手法を用いてそれらの発生メカニズムが研究されている。トレーダー集団の自己組織化や相転移がメカニズムを説明するための基本的なアイデアであるが、株価変動の統計モデルとして最も妥当な分布やその発生メカニズムに関して一致した見解が得られているわけではない。他方、人間の認知の特性も経済現象に大きな影響を与える。Kahneman と Tversky のプロスペクト理論に端を発する行動経済学は、ある種の不完全性を含む人間の認知の仕方や心理的バイアスを考慮することによってより

適切な経済理論を構成する試みである。しかし、人間の認知過程としての推論を考慮して市場の振舞いを適切に説明する決定的なモデルは未だ知られていない。

2. 研究の目的

本研究の目的は、(1) 時系列データに適用可能な形式によるアブダクティブ推論の数理モデル化、(2) 人間の行うアブダクティブ推論が、株式市場暴落の原因となり得ることを、数理モデルと認知実験によって示すこと、またそのための実験システムを構築すること、である。

経済物理学の分野では、経済系における様々な統計量が冪分布を含む非 Gauss 型の分布を持つことに注目している。他方、行動経済学は、ある種の不完全性を含む人間の認知の仕方や心理的バイアスを考慮することによってより適切な経済理論を構成しようとしており、近年大きな発展を遂げている。経済物理学と行動経済学とは、現在、各々独立に研究が進められているが、本研究はこれらの分野に関わる 2 つのトピック（認知に関わる不完全性と経済系の統計量に現れる非 Gauss 性）が密接に関連していることを、数理モデルと認知実験の双方から統合的に示す試みとして重要な意義がある。

3. 研究の方法

本研究ではまずアブダクティブ推論を時系列データに適用可能な形式でモデル化し、アブダクティブパラメータ推定として定式化した。これは通常とは異なり非常に少ない数のデータから推定を行うものである。これは推定パラメータに大きな偏差を発生させるため、工学的なシステム同定の方法論としては使用できない。しかし、これを人間の認知過程のモデルと見なすことで様々な応用が可能となる。アブダクティブパラメータ推定では、Cauchy 分布から Gauss 分布の間に存在する様々な偏差の分布をデータ不完全性の強弱によって再現できるため、単純な冪法則のみでは説明がつかない変動に対しても強い説明力を有する。

さらに、Pawelzik らのターゲット追跡実験

を参照しつつ、認知実験（株価予測課題）に使用する実験用アプリケーションを、Javaを用いて開発した。

Pawelzik らのグループは、コンピュータ画面上を運動するターゲットに対し、被験者がマウスで操作するカーソルを一致させるという単純な認知実験を行い、ターゲット-カーソル間距離の分布が冪法則を満たすことを示した。本研究では、Pawelzik らの実験より着想を得た、株価予測過程を模した認知実験を提案した。各被験者に対して PC と図 1 のような GUI を持つアプリケーションを使った実験を行った。

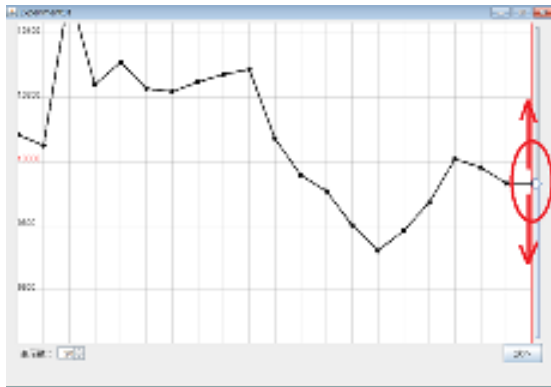


図 1 認知実験用アプリケーションの GUI

アプリケーション画面には、 ε_t を $\sigma=145$ の Gauss 分布に従う乱数列、初期値を $p_{25}=9839$ としたランダムウォーク $p_{t+1}=p_t+\varepsilon_t$ を表示する。被験者には、これをある人工市場における日足株価であると説明し、画面右端にあるスライダーを移動させ、「翌日の株価」を予測するよう指示する。アプリケーション画面には、一度に 20 日分のデータが表示される。予測した株価の位置にスライダーを移動させ、ボタンを押すと人工市場の日付が 1 日進み、新たな株価が表示される。この予測操作を 100 回（100 日分）行い、各日における予測値 x_t を記録してゆく。予測した値は画面に表示されるランダムウォークに影響を与えない。また、表示される見本過程は、すべての被験者について同じものを用いた。

4. 研究成果

我々はアブダクションの概念を出発点として、本研究を通して次のような成果を得た。

(1) 演繹・帰納・アブダクションという推論の 3 形式に対応する構造が、線形システムとそれに対する一般化されたパラメータ推定が成す Adjoint の中に存在することを明らかにした。

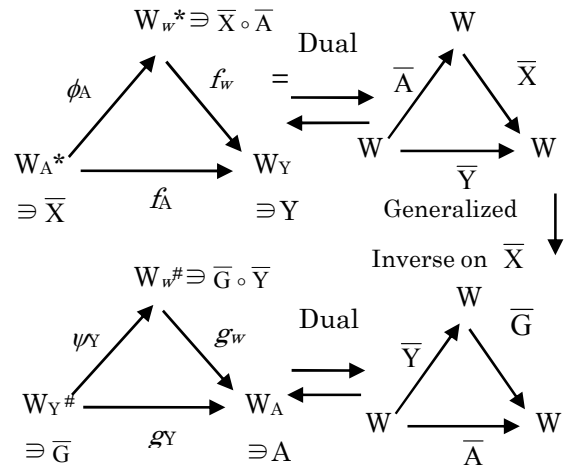


図 2 推論構造から誘導される線形システムとそれに対する一般化されたパラメータ推定が成す Adjoint 構造

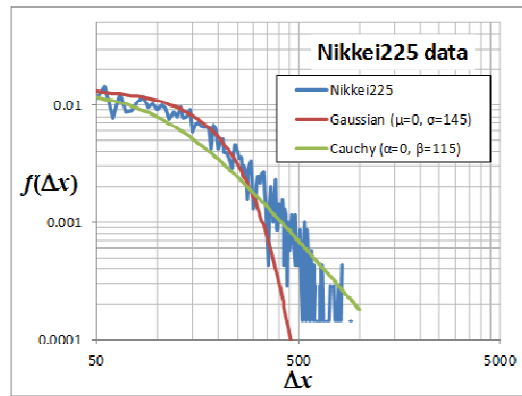


図 3 日経平均株価終値の差分の分布

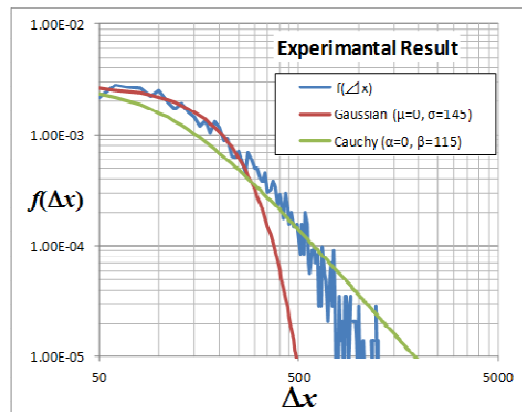


図 4 擬似株価予測値の差分の分布

(2) アブダクティブパラメータ推定 (APE) の提案および APE に基づく擬似株価予測実験の研究を行った。APE とはパラメータ推定とある種の不確実性を含む推論であるアブダクションとを結びつけた概念である。我々は APE を AR 過程に適用することにより

推定パラメータの分布として Gauss 分布, Cauchy 分布, およびその中間的分布が得られることの数値的および解析的証明を行った。また, 株価の暴騰・暴落は上記のメカニズムが関わる経済現象であるとの仮説を立て, 擬似株価予測実験を 142 人の被験者に対して行い, 株価変動分布の特徴である Gauss 分布と Cauchy 分布の中間的性質を持つ分布を得た。

これらの結果は, 学術雑誌論文 3 件 (うち国際学会 Proceeding 1 件), 学会発表 12 件によって公表した。本研究の一部は第 12 回計測自動制御学会 SI 部門講演会において優秀講演賞を受賞した。さらに本研究の成果に基づき, 研究代表者は平成 25 年度東北大学電気通信研究所共同プロジェクト研究の参加が決定するなど評価を受けた。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 3 件)

① 上浦 基 (2013)

Implicit 相互作用: システムの局所的記述の数理, 計測自動制御学会論文集 Vol.49, No.1, pp.190-196, 査読有。

② Moto Kamiura & Yu Murata (2012)

I/O-Precedential Process as an Ontological Parameter Estimation, Proceedings of SICE Annual Conference 2012, pp.798 - 800, 査読有。

③ Moto Kamiura (2011)

Abduction as Incomplete Parameter Estimation, triple C - Cognition, Communication, Co-operation. Vol 9, No 2, pp.494-501, 査読有。

[学会発表] (計 1 2 件)

① Moto Kamiura and Yu Murata,

Stock Market Dynamics Derived from a Cognitive Bias,

The 18th Artificial Life and Robotics (AROB2013)

[30,January-1,February, 2013 / Daejeon Convention Center, Daejeon, Korea] (verbal presentation)

② Moto Kamiura and Yu Murata,

I/O-Precedential Process as an Ontological Parameter Estimation,

SICE Annual Conference 2012 (SICE2012)

[20-23, August, 2012 / Akita University, Akita, Japan] (verbal presentation)

③ 上浦 基, 〈ネットワーク〉と内部観測, 第 24 回計測自動制御学会 SI 部門共創システム部会研究会・第 7 回内部観測研究会 (共同開催) 2013 年 3 月 2 日~3 日, 理化学研究所和光キャンパス

④ 上浦基・村田結, アブダクティブ推論に基づく市場変動モデルと認知実験の構成, 第 13 回計測自動制御学会 SI 部門講演会, 2012 年 12 月 18 日~20 日, 福岡国際会議場

⑤ 上浦 基, アブダクティブ推論と株価変動, 東北大学電気通信研究所共同プロジェクト研究会, 2012 年 10 月 28 日, 東北大学電気通信研究所

⑥ 上浦 基, 相互作用記述と選択肢生成, 第 2 回身体性研究会(早稲田大学複雑系高等研究所)2012 年 4 月 21 日, 早稲田大学西早稲田キャンパス

⑦ 村田結・上浦基, 動的アジョイントの観点から見た株価時系列に対する AR パラメータ推定, 第 23 回 計測自動制御学会 SI 部門共創システム部会研究会・第 6 回内部観測研究会 (共同開催) 2012 年 3 月 17 日~18 日, 神戸大学六甲台キャンパス

⑧ 上浦基・村田結, 因果性表現としての関数, 第 23 回 計測自動制御学会 SI 部門共創システム部会研究会・第 6 回内部観測研究会 (共同開催) 2012 年 3 月 17 日~18 日, 神戸大学六甲台キャンパス

⑨ 上浦 基, 入出力先行過程と共創の数理. 第 12 回計測自動制御学会 SI 部門講演会, 2011 年 12 月 23 日, 京都大学吉田キャンパス

⑩ 上浦 基, 共創と内部観測の諸相, 東北大学電気通信研究所共同プロジェクト研究会, 2011 年 10 月 22 日, 東北大学電気通信研究所

⑪ 上浦 基, 共創の論理と自己組織化の論理: 臨界現象の視点から, 計測自動制御学会共創システムシンポジウム, 2011 年 10 月 21 日, 東京工業大学 大岡山キャンパス (口頭発表)

⑫ 上浦 基, 不確実性環境下での推論と学習, 東北大学電気通信研究所 プロジェクト研究

会，2011年6月4日，東京工科大学八王子
キャンパス（口頭発表）

〔その他〕

ホームページ等

<http://proto.rd.dendai.ac.jp/>

http://www.geocities.jp/kamiura_m/

6. 研究組織

(1) 研究代表者

上浦 基 (KAMIURA MOTO)

東京電機大学理工学部・助教

研究者番号：10516181