

エージェントモデルに基づく株価変動シミュレーション結果の可視化および利用環境の開発

綱脇 倫子¹ 市川 哲彦² 藤代 一成³ 尹 熙元⁴

概要金融市場の日中株価変動は統計的な処理が難しいため、近年はエージェントモデルを用いたミクロレベル、あるいは准マクロレベルでの株価変動シミュレーションが利用されるようになった。本研究では、このようなシミュレーション結果から迅速に売買執行者が意思決定可能となるように、複数シミュレーション結果の同時提示を行う可視化環境の開発を行った。

キーワード: 情報可視化、株価予測、focus+context ビュー、詳細度制御。

A Visualization Environment for Multiple Daytime Stock Price Predictions

Tomoko Tsunawaki¹ Yoshihiko Ichikawa² Issei Fujishiro³ Hiwoon Yoon⁴

Abstract Since statistical methods can not model daytime stock price movement of financial market, agent-based simulation at the micro or macroscopic level has been recently studied. This report explains a visualization environment where simultaneous presentation of multiple simulation results is performed so that decision made by dealers might be quickly attained from the simulation results.

Keywords: information visualization, stock price prediction, focus+context view, level-of-detail control.

¹お茶の水女子大学大学院人間文化研究科数理・情報科学専攻〒112-8610 東京都文京区大塚 2-1-1 E-mail: tsuna@im.is.ocha.ac.jp (Ochanomizu University Graduate School of Mathematics and Information Sciences)

²お茶の水女子大学理学部情報科学科〒112-8610 東京都文京区大塚 2-1-1 電話: 03-5978-5708, Fax: 03-5978-5704 E-mail: ichikawa@is.ocha.ac.jp (Department of Information Sciences, Ochanomizu University)

³お茶の水女子大学大学院人間文化複合領域科学専攻〒112-8610 東京都文京区大塚 2-1-1 電話: 03-5978-5700, Fax: 03-5978-5704 E-mail: fuji@is.ocha.ac.jp (Ochanomizu University Graduate School of Integrated Sciences)

⁴株式会社 CMD リサーチ〒105-0003 東京都港区西新橋 2-19-4 西新橋 K-1 ビル 6 階電話: 03-5405-9240, Fax: 03-5405-9241 E-Mail: yoon@cmdr.co.jp (CMD Research Inc.)

1 背景と目的

近年株式市場における株売買に関する情報開示が進んでおり、日/週/月/年といった比較的中長期的な価格変動や出来高に加え日中の株売買の詳細にも一般投資家や証券会社以外のディーラーがアクセス可能になった。このことから、ポートフォリオ、則ち、保有する銘柄の種類と数を計画するだけではなく、実際に目標とするポートフォリオを実現するために、どのタイミングで日中の売買をするかという選択が重要になってきている。

しかしながら、日中の価格形成過程は中長期的な価格形成過程とは異なってオークション形式 (auction market) を取るため、経済学的なモデリングが不十分であり、そのため売買のタイミングについてはディーラー自身の経験に頼っているのが実情である。そのため、情報開示によってオークションの様子が一時的に見られるようになって、一般投資家や経験の低いディーラーでは容易に利用することはできない。

このようなシステムにおける利用者の意思決定を支援するためには、二つの研究が不可欠である。一つは、既にのべた通り日中の価格形成過程を分析するための金融工学的なモデリング手法の研究である。もう一つは、株価変動予測が複数生成されたり、あるいは、予測が期待値と偏差を持っている場合に、システムの利用者が予測結果を読み迅速に意思決定をするための支援ツールに関する研究である。

前者のモデリング手法に関する研究では、従来の統計的な研究に対して、計算機技術の発展を背景としたエージェントシミュレーションを利用した人工市場の研究がなされるようになってきた。その一つの試みとして、3 体トレーディングモデルによる日中の売買過程のシミュレーション手法が提案されており、日中の局所的な変動をより高精度にモデリングすることを可能にしている [14]。またシミュレーションの初期値選択に遺伝的アルゴリズム (genetic algorithm, 以下 GA) を利用することで、シミュレーションパラメータの自動生成も行っている。

GA では解の評価関数の値がある程度良いものの集合を計算する。また、シミュレーションパラメータの与え方についても GA だけでは決定できないものがあるため、やはり複数のシミュレーション結果が得られる。そのため、生成された複数の日中売買シミュレーション結果を比較しながらどの取引モデルが将来を正しく反映していそ

うかを的確に判断する必要がある。各モデルに対応するチャートを別々に同時に表示することが最も基本的な対応策ではあるが、同時に比較できるチャート数は、慣れたディーラーであっても 10 程度が限界である。従って、利用者自身の迅速な意思決定を可能にするためには、複数の値動き予測のより有効な同時提示手法の開発が不可欠である。

最も基本的なラインチャートを重ね合わせることで複数の値動きを同時表示することも考えられる。この様子を図 4 に示す。これは 22 個の株価変動シミュレーション結果を gnuplot⁵ を用いて作成したものである。横軸は時間 (分単位) に、また、縦軸は価格にマップされている。似たような値を取るところでは線が重なりあい、cluttering と呼ばれる現象の発生が容易に見てとれる。“上げ” と “下げ” の傾向が類似している部分については変動を把握することが簡単であるが、より重要な、傾向が変化する部分が特に見づらくなっている。

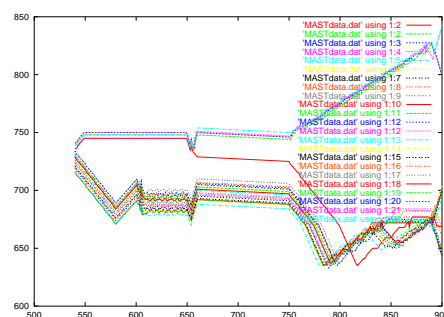


図 1: 22 個の時系列データを同時に表示したもの

1990 年代に入って、従来からあるグラフ作成技術は単純なビジネスグラフィックスや図学的な分野としてだけではなく、計算機システムによる処理を背景とした、より高度な意思決定支援システムとして位置付けられるようになった。1980 年代後半から発展してきた科学技術データを対象にした可視化 (scientific visualization) と同様に、複雑な 3 D モデルを用いたり、対話的な操作を利用するので情報の可視化 (information visualization) [1] と呼ばれる。2D での基本的な可視化技法としては、平行座標系 (parallel coordinate) や散布図 (scatter plot) が知られている。

情報可視化の古典的な手法は必ずしも効果的な

⁵Thomas Williams と Colin Kelley によって開発された描画ツール。

可視化結果をもたらさないことから、金融市場などを対象とした情報可視化の手法の提案がこれまでもなされている。本稿の目的は、それらの手法の特性と今回対象とする金融工学データの特性の双方を考慮した上で、金融市場の日中売買シミュレーションに適した可視化技法と環境を構築することである。

以下ではまず、ここで取り扱う金融工学モデルとモデルの選択方法について触れ、次に、これまでの情報可視化分野における関連研究について述べる。続いて、本研究で実装した可視化環境と技法について説明する。

2 3体トレーディングモデル

文献 [14] で提案されている3体トレーディングモデルでは、株式市場を構成する主体として (1) 投資家 (investor), (2) デイトレーダー, (3) マーケットメーカーの3種類を想定している。特徴は次の通りである:

- 投資家: 数ヵ月から数年の間で利益を上げること考えるので、日中の売買行動は一方的な売り、あるいは買いとなる。
- デイトレーダー: 一日の間に何度も売買を行い、分単位の価格差による利益を目的として行動する。
- マーケットメーカー: 数日間の持ち高の持ち越しによって収益を得ることを目的としている。従って、前日の価格が当日の基準値となり、その基準値からの解離状況によって行動が決定される。

3体トレーディングモデルでは、全ての売買は、これら3種類の主体の売買の組み合わせ9種類のうちのどれかによって行われているものと考えられる。どの主体によって売買が行われているかを、その売買の売買属性と呼ぶ。9種類の売買属性を0, 1, ..., 8で符合化すると、0~8の数列によって日中取引の記述が得られることになる。

3体トレーディングモデルのシミュレータには、自動モードとGAモードとがあり、自動モードでは、市場環境や銘柄属性などの初期状態から日中売買の時系列データが生成される。一方、GAモードでのシミュレーションは過去の売買に基づいて自動モードの初期値を計算するために利用される。GAモードでは9つの売買属性を遺伝子

型とし、その系列を染色体と考える。環境への非適応度は実際の売買との誤差の累計を利用する。GAモードで得られた結果から自動モードの初期値 (のいくつか) を決定することにより、過去の値動きに基づいた将来の値動きの予測をすることが可能になる。

3 関連研究

株価および関連する取引を例題とした論文としては Worlds within Worlds [2] が有名である。この論文では、為替のオプション取引の選択の際に利用される6変数関数の値を可視化対象にしている⁶。1変数を固定した5変数関数を表示する際、3次元直行空間の x, y, z 軸をデータの3つの変数にマップし、ユーザポップアップで表示される3次元直行空間の u, v, w 軸を用いて残りの2変数と関数値を表示する。正確な数値的なデータが表示される一方で、3D表示における occlusion⁷ が顕著である。

文献 [10] は Information Animation の概念を紹介したものであるが、可視化例として、株取引の板 (equity-trading)、債権市場 (bond market)、保有期間を変化させた時の portfolio 評価などを用いている。基本的には3次元空間に図形 (“sign” と呼ばれる) を配置する手法を取っている。(配置された空間は “landscape” と呼ばれる。) このツールは VisIT/In3D として Visible Decision 社より販売されている⁸。この論文では、Information Animation の概念を利用して板の様子を可視化したり、債権市場におけるスプレッドを可視化しており、3次元空間と対話操作を利用することで通常の2D表示に比べて二桁以上の数の同時表示が可能であることを示している。また、3D表示における occlusion の問題とパースによる歪みの問題は、対話操作によって解消されるとしている。

このような手法は非常に一般性があるものの、文献 [10] で指摘されている通り、どのような landscape が適切かはタスクドメイン毎に異なっている。このことから、今回の複数の日中売買シミュレーション結果の可視化に対してどのような

⁶変数は、満期価格 (strike price)、現在の価格 (spot price)、満期までの日数、国内通貨利率、外国通貨利率、流動性 (volatility) の6つである。

⁷手前のオブジェクトが奥のオブジェクトを隠してしまう現象。

⁸現在、Visible Decision 社は Visual Insights 社に吸収されている。また、VisIT/In3D に関しての概略は [12] を参照されたい。

landscape を構成すべきかは決して自明ではない。また、実際に同様の手法を用いた文献 [13] の表示では全体的な傾向を読み取るのが難しいという問題があった。これは、sign の大きさに対して空間配置の距離が近すぎたという landscape 設計上の問題にも起因しているが、この点は逆に 3D landscape による可視化手法が全体像を見られる程度に間を開けると、個別の sign の特徴が比較しにくくなるというジレンマを抱えていることを顕著に示している。

いずれの論文も 3D 空間を利用したものであるが、2D 空間での多変量データの可視化技法で株価を例題としているものとして、recursive pattern [7] や攪拌凝縮法 [11] がある。Recursive pattern では space filling curve 等に沿ってデータポイントを表すピクセルやパターンをプロットすることによって全体の傾向の把握をする手法である。データポイントの属性はピクセルの色によって表現される。類似する変動傾向はテクスチャの類似として読み取ることができる。

攪拌凝縮法では時系列データ中の各時刻の値が、あらかじめ与えられたクラスの構成比率であることを前提としている。色はクラスにマップされ、各時点のデータは小矩形領域のテクスチャによって表現される。このテクスチャは、その時点でのクラス分布の比率に従って、ランダムにクラスに対応する色のピクセルをプロットすることで構成されている。これにより、例えば複数の株価の変化を表示する際、変動の大きなクラスが大勢を占めているのか、あるいは価格が下降傾向にあるものが大勢を占めているのかなどを容易に把握することができる。いずれの手法も趨勢を調べるには良いが、各変量の関係の傾向を調べるだけではなく詳細部分についても着目したい場合には不向きである。この点は文献 [11] でも指摘されている。

大量の時系列データの 2D での可視化という意味では (アプリケーションドメインが株価等とは離れるが) Information Mural [6] が知られている。これはメタファーというよりもむしろスクリーンサイズよりも大きな 2D 空間にプロットされたデータをスクリーンサイズにマップするための手法である。Information Mural ではまず、元データを離散化せずにスクリーンスペースにマップする。次に、近隣の 4 ピクセル (つまり格子点) に関連づけられている密度を、各ピクセルとマップ先データとの位置関係に応じて増加させる。この結果に視覚的な表現を与えることによって、大量データの全体の様子を一覧できるようにしている。

4 本研究のアプローチ

本研究では上述の複数時系列データの同時提示手法と、種々のパラメータを変化させた場合の結果の比較をするためのワークスペースの双方の実装を目的としている。なお、すべての実装は、C/C++、Tcl/Tk、OpenGL、Togl を用いて行った。

4.1 可視化ワークスペース

GA のパラメータとしては、初期値として利用する染色体の数、突然変異の確率、交叉の割合、世代数などがあり、さらにこれに加えてシミュレーションパラメータが存在する。これらのパラメータを変化させた場合の各々について、複数の時系列データが得られるので、方式としては Worlds within Worlds のような dimension stacking を採用することにした。

4.1.1 システムの概要

本システムで用いられるデータセットは、33 個のシミュレーションパラメータと株取引データから生成されたものである。多くのパラメータは、銘柄、市場、日付などにより決定されるので、ユーザインタフェースレベルで変化させる必要はない。そこで、買い方の投資家の持ち高と売り方の投資家の持ち高のパラメータをスライダーにより変化させることにした。これにより、dimension stacking において考慮すべき独立変数は、銘柄、時刻、買い方投資家の持ち高、売り方投資家の持ち高、シミュレーションの 6 つである。従属変数は、価格、あるいは価格の変化である。今回可視化したデータはすべて前述のシミュレータで生成されたものである。ただし、正確なシミュレーションに必要な銘柄特性、市場環境については同一のパラメータセットを用いている。

4.1.2 システムの構成

本システムは、複数のパラメータを変化させたときの株取引のシミュレーションの様子を複数同時表示し、対話的な操作によりユーザが最適なデータセットを選択できるようにすることを目的とする。

このような観点からシステム上のパラメータには、銘柄、買い方投資家の持ち高、売り方投資家の持ち高の 3 つを割り当てることにし、パラメータを 1 つ固定したとき他の 2 つのパラメータをスライダーで制御することで 3 通りの可視化ワークスペースを作成した。dimension stacking の個

別のセルには時刻、シミュレーションと価格あるいは価格の変化が割り当てられている。この個別のセルに利用されている thumb nail 画像の表示形式は、後述の複数時系列の2つの同時提示手法のいずれかに基づくものである。個別のセルをクリックして選択すると、そのデータセットの詳細がポップアップで表示される。

実際に作成したワークスペースは2種類に分けられる。

1. 銘柄を固定した場合

この場合、ユーザは銘柄を1つ選択し、買い方と売り方の持ち高についてはスライダーによって範囲を自由に選択できる。範囲を広げたり狭めたりすることにより、表示画面の分割数が変化する。

図2は複数時系列の同時提示法1の可視化方法に基づいて表示したものである。個別のセルの横軸には時刻、縦軸には値段が割り当てられていて、22個のシミュレーションを表示している。

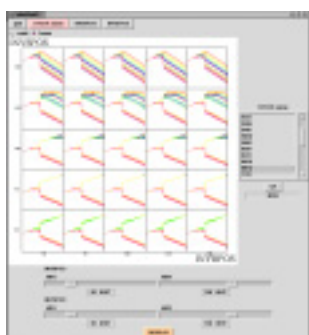


図 2: 可視化ワークスペース 1

2. 買い方投資家の持ち高、または売り方投資家の持ち高を固定した場合

この場合、ユーザは買い方または売り方の持ち高をスライダーにより1つに固定し、もう一方のスライダーで範囲を自由に選択できる。銘柄についてはリストボックスの中から8つまで選択することができる。

図3は複数時系列の同時提示法2の可視化方法に基づいて表示したものである。個別のセルの横軸には時刻、縦軸にはシミュレーション名が割り当てられていて、22個のシミュレーションの変位が表示されている。

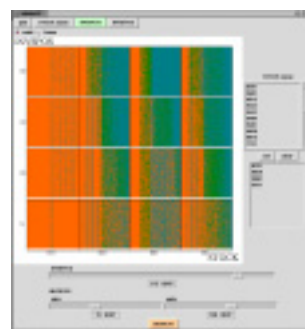


図 3: 可視化ワークスペース 2

4.2 複数時系列の同時提示法1：折れ線グラフの改善

複数時系列の同時表示方式としては折れ線グラフや図形のプロットを使うのがもっとも簡単であるが、上述の通り cluttering が発生してしまい非常に見づらくなる。改善する方法としては、図形をプロットするときに重なり具合が分かるようにする方法がある。ピクセルに濃度を持たせ、図形をプロットする時にそれがカバーする範囲のピクセルの濃度を増加させる。これによって、cluttering 発生箇所の判定ができる。また、濃度分布自体を可視化して文献 Information Mural [6] の様に用いることができる。

また、時間軸を等間隔にプロットするのが cluttering を発生させる原因でもある。従って、上記の方法で一定の値以上の濃度を持つセルが発生した時に、自動的にその周辺の時間軸を拡大すれば、詳細が理解しやすくなると考えられる。

さらに、これらの濃度パラメータやウィンドウサイズ、分散の上限などを slider 等のウィジェットで対話的に変更できるようにすることにより、詳細度 (Level of Detail, 以下 LoD) の制御が可能になる。

4.2.1 可視化対象となるデータの概略

1つの銘柄について CSV 形式のファイルで売買の様子が記録されている。このファイルには22個の時系列データが格納されている。

4.2.2 可視化設計

自動拡大機能によりユーザーの手をわずわらせずに cluttering を減少させた表示が可能であるが、この機能を実現するには、拡大対象区間の自動判別が必要である。そこで アルゴリズムを次の3ステップで考えた。

1. 各時点 t において、予測された株価のヒスト

グラム h_t を作成する

2. $h_t(p) \neq 0$ なる各 (t,p) について、 (t,p) を中心に四角形を仮想的なキャンバスに描く．この四角形内のピクセルの輝度は、中心から辺に向けて徐々に減少する．この四角形を描く際、キャンバスのピクセルの輝度は描画される四角形中の対にするピクセルの輝度分だけ増加される．

3. 仮想キャンバス中の各ピクセル (t,p) について、その点での輝度が与えられた域値よりも大きいか否かを調べる．そのような点から始まる次の取引までの時区間は横方向により多くのスペースを割り当てられる． (t,p) から描画される線分の色は $h_t(p)$ の値によって決められる．

また、LOD 制御対象となる時区間の両端を slider で設定可能にすることでよりユーザーの見た時区間だけを拡大することもできる．

4.2.3 実装

図 4 に可視化結果を示す．黒枠で囲まれたところが 拡大されたところである．

実装した機能をまとめると以下ようになる：

1. cluttering の度合による自動拡大
2. 拡大範囲の強調
3. slider による表示対象時区間、拡大対象を決める cluttering 度合のしきい値、拡大倍率の選択
4. マウスを用いたグラフへの直接操作による表示対象時区間の選択

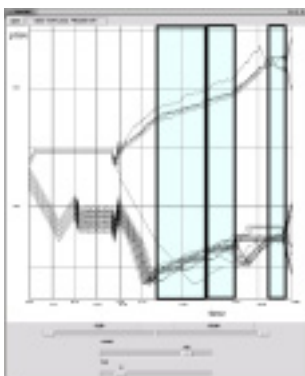


図 4: 複数の時系列データを折れ線グラフで表示し一部を自動拡大したもの

4.3 複数時系列の同時提示法 2：攪拌凝縮法とクラスタリングの利用

複数のシミュレーションの上昇と下降のトレンドを見るということであれば、価格の系列を対象

データとせず、価格の変化を可視化対象にすることができる．そこで複数の時系列変動データの可視化を行うことにした．

4.3.1 可視化対象となるデータの概略

売買の様子が記録されている CSV 形式のファイルから、株価の変動を記録した OKC 形式ファイルに変換したものを使用する．ここで、OKC 形式ファイルは、XmdvTool[9] が使用するデータフォーマットであり、後述のように、XmdvTool の一部として提供されている Burch のクラスタリングアルゴリズムの実装を使用するために用いた．

4.3.2 可視化設計

この手法の目的は、得られたシミュレーションが、どの時点で株価が上昇、下降、横ばいになっているかを視覚的に読み取り易くすることである．

そこで、矩形グリフを各価格変動に対応づけることにする．このグリフは、縦方向の長さは固定で、横方向は対応する価格変動の時間間隔に比例する長さを持ち、また、色は変化の大きさを表すとする．これを横方向に並べると色付けされた帯ができ、これが価格変動の各時系列の表現となる．価格変動時系列の帯グラフを縦方向に隣接して並べることによって、全ての時系列を一望することができる．しかしながら、時系列の数が増えると個別の変動が読み取りづらくなるという問題がある．

同じ時間間隔に対応する縦方向の矩形列を見ると、ちょうど攪拌凝縮法 [11] における元データに類似の画像 (図 5) になる．

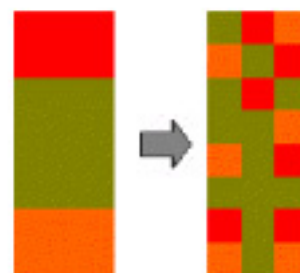


図 5: 攪拌凝縮法における元データに類似の画像

このことから表示時系列の数が少ない場合は、上記の帯グラフの列をそのまま提示し、表示時系列数がある一定の個数を越えた時には、攪拌凝縮法によってこれらをテクスチャに変換すれば全体の傾向を見失う事はなくなる (図??) . LoD の制御法としては、最も詳細度が低いレベルでは全デー

タの撹拌凝縮を、また、次のレベルでは、上半分と下半分で個別に撹拌凝縮を、更に次のレベルでは、1/4 毎に撹拌凝縮を、等々、という方法も考えられるが、グルーピングに特別な意味が無い点が問題となる。そこで、予め時系列データをクラスタリングしておき、クラスタ木を走査した時のリーフの出現順に従って、時系列データを配置する方法を用いる。LoD パラメータよりクラスタ半径が小さいものを撹拌凝縮法によってテクスチャに変換すれば全体の傾向を見失う事はなくなる。表示プログラムは以下になる。

```
void dft_display(int idx)
{
    int i,r;

    /* case 1: クラスターが葉の場合 */
    if (cls[idx].np == 1) {
        /* 予測の色帯を描画する */
        display_line(cls[idx].id+1, ry++);
        return;
    }
    /* case 2: クラスターの半径が制御パラメータより小さい場合 */
    if (cls[idx].rad < lod) {
        /* クラスターをテクスチャー帯に変換する。
        この変換関数は含まれる予測の数を返す。 */
        lf = conversion(idx);
        /* その色帯を描画する */
        display_texture_band(ry);
        /* 描画位置を移動する */
        ry += lf;
        return;
    }
    /* case 3: それ以外の場合、再帰的に各子供
    に描画ルーチンを適用する */
    for (i = 0; i < n; i++)
        if (cls[i].pid == cls[idx].id)
            dft_display(i);
}
```

4.3.3 実装

プログラムを利用時の、可視化に至るまでの処理の流れを説明する。

上記の CSV 形式のファイルを OKC 形式に変換する。そしてさらに OKC 形式ファイル中のシミュレーション群をクラスタリングする。その結果得られるクラスタファイルと OKC 形式ファイルを可視化プログラムに与えると、図 6、図 7、図

8 に示すような可視化が得られる。

横軸は時間で、縦軸は時系列データである。LoD パラメータは、スライダーによって、対話的に指定できるようにした。

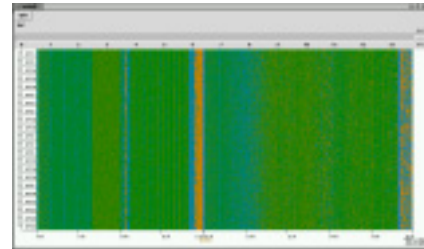


図 6: LoD パラメータ最大の時

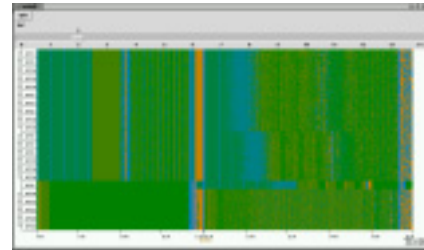


図 7: LoD パラメータ=2 の時

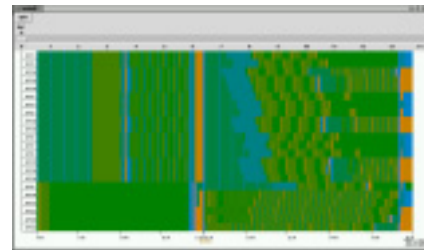


図 8: LoD パラメータ最小の時

5 考察と今後の課題

可視化ワークスペースでは、dimension stacking を利用することにより、複数のパラメータを変化させることができ、ユーザが最適なデータセットを選択できる対話的な可視化ワークスペースを提供することができた。また、セルを選択したときにポップアップ形式で 2 つの可視化方法のシステムを表示させることで、そのデータセット

についての詳細も知ることができるようになっている。

しかし、分割数を増やした場合や複数時系列の同時提示法2を用いた場合には、表示に時間がかかることがある。より対話的なワークスペースを提供するためには、個別のセルに描画する thumbnail 画像をあらかじめ生成しておくなどの改善が必要である。

また複数時系列の同時提示方法1では、自動拡大機能により、cluttering の減少した focus+context view を自動的に提供できた。slider によって時刻、cluttering 度合、拡大倍率の変更することで、特定時区間の価格の動きに注目することもできる。また、マウス操作によっても特定時区間を選択することができるようにし直観的に選択できるようにもした。

より良い cluttering 判定法の検討が今後の課題である。

最後に複数時系列の同時提示方法2では、株価変動をテクスチャを用いて表示することで、生成されたシミュレーション全体の株価動向を見渡す可視化を提供できた。データ数の量が表示面積に対して多い場合、撹拌凝縮法を用いることで全体のトレンドを表示可能にして LoD を制御し、さらにクラスタリングの結果を使用することで、詳細を完全に失うことなく表示することができた。

用途によっては LoD のパラメータを変化させた時の突然の変化 (abrupt change) を避ける必要があるかもしれない。その場合モーフィング等の技術を使用してなめらかにテクスチャ間の補間をする必要がある。

6 まとめ

複数の日中売買変動のシミュレーション結果を効果的に可視化する手法について、実データに適用して有用性の評価を行うことが今後の課題である。

参考文献

- [1] S. K. Card, J. D. Mackinlay, and B. Shneiderman. *Readings in Information Visualization: Using Vision to Think*. Morgan Kaufman, 1999.
- [2] S. Feiner and C. Beshers. Worlds with worlds: Metaphors for exploring n-dimensional data. In *Proceedings of UIST'90*, pp. 76–83, 1990.
- [3] Y. H. Fua, M. O. Ward, and E. Rundensteiner. Hierarchical parallel coordinates for exploration of large databases. In *Proceedings of Visualization 99 (Vis'99)*, pp. 43–50, October 1999.
- [4] Y. H. Fua, M. O. Ward, and E. Rundensteiner. Navigating hierarchies with structurebased brushes. In *Proceedings of Information Visualization 99 (InfoVis'99)*, pp. 58–64, October 1999.
- [5] Y.-H. Fua, M. O. Ward, and E. A. Rundensteiner. Structure-based brushes: A mechanism for navigating hierarchically organized data and information spaces. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, Vol. 6, No. 2, pp. 150–159, April-June 2000.
- [6] D. F. Jerding and J. T. Stasko. The Information Mural: A technique for displaying and navigating large information spaces. In *Proceedings of the IEEE Information Visualization '95*, pp. 43–50, October 1995.
- [7] D. A. Keim, H.-P. Kriegel, and M. Ankerst. Recursive pattern: A technique for visualizing large amounts of data. In *Proceedings of IEEE Information Visualization '95*, pp. 279–286, 1995.
- [8] A. R. Martin and M. O. Ward. High dimensional brushing for interactive exploration of multivariate data. In *Proceedings of the IEEE Visualization 95 (Vis'95)*, pp. 271–278, November 1995.
- [9] M. O. Ward. XmdvTool: Integrating multiple methods for visualizing multivariate data. In *Proceedings of the IEEE Visualization 94 (Vis'94)*, pp. 326–336, October 1994.
- [10] W. Wright. Information animation applications in the capital markets. In *Proceedings of IEEE Information Visualization '95*, pp. 19–25, 136–137, 1995.
- [11] 斎藤 康彦. 多変量データ系列における規則性を発見するための可視化手法. 情報処理学会論文誌データベース, Vol. 40, No. SIG6(TOD3), pp. 1–11, August 1999.
- [12] 市川 哲彦. 情報可視化パッケージ visit/in3d. 中嶋 正之, 藤代 一成 (編), コンピュータビジュアルリゼーション, 第 11 章. 共立出版, 2000.
- [13] 山下 陽子, 市川 哲彦. デイトレーディング用株取引可視化システム. 第 13 回データ工学ワークショップ (DEWS 2001), March 2001.
- [14] 尹 熙元, 斎藤 英雄, 棚橋 隆彦. 金融市場における日中変動シミュレーション. 日本計算工学会論文集, August 2001.