

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 18 日現在

機関番号：21401

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2013

課題番号：24710169

研究課題名(和文) 情報統計力学のポートフォリオ最適化問題への適用

研究課題名(英文) Application on the portfolio optimization problem of statistical mechanical informatics

研究代表者

新里 隆 (Shinzato, Takashi)

秋田県立大学・システム科学技術学部・助教

研究者番号：70574614

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,100,000円、(間接経費) 630,000円

研究成果の概要(和文)：近年，ポートフォリオ最適化問題において，情報統計力学に基づいた解析は学際領域の多くの研究者に注目されている．先行研究において収益率が各々独立同一分布に従う場合の最小投資リスクについて解析されてきたが，銘柄間の収益率に相関が含まれている場合の最小投資リスクに対して十分な議論がされていない．そこで我々はレプリカ解析，適応TAP方程式，ランダム行列積分公式の3つの解析法を組み合わせ，相関が含まれている場合のポートフォリオ最適化問題を解析する．さらに相関構造を扱えるようにこれらの解析手法を拡張する．

研究成果の概要(英文)：Recently in portfolio optimization problem, the analysis based on statistical mechanical informatics attracts attention of a lot of researchers in cross-disciplinary fields. In previous works, the typical behavior of minimal investment risk in the case that return rate of each asset is independently and identically distributed is investigated sufficiently, however, the minimal investment risk in the case that return rates are correlated with one another is not enough. Thus we investigate portfolio optimization problem in the correlated case using three approaches, replica analysis, adapted Thouless-Anders on-Palmer equation and random matrix integral. Furthermore, these analysis techniques are improved in order to treat correlation structure.

研究分野：複合領域

科研費の分科・細目：社会システム工学・安全システム

キーワード：ポートフォリオ最適化 情報統計力学 レプリカ解析 適応TAP方程式 ランダム行列 平均分散モデル 相関構造

1. 研究開始当初の背景

近年、ポートフォリオ最適化問題の解析において、数理ファイナンス分野とは異なる研究分野の手法である情報統計力学を用いた理論研究が活発に行われている。これらの先行研究として、Ciliberti and Mezard(2007)は絶対偏差モデルや期待ショートフォールモデルの最小投資リスクの典型値をレプリカ法を用いて解析し、最小投資リスクの振る舞いを明らかにした。また Pafka and Kondor(2003)はランダム行列理論を用いて収益率の分散共分散行列からノイズを除去し、さらに Machenko-Pastur 則を用いて予測値と実際の値を比較した。これに対して研究代表者は、確率伝搬法を用いて Cilibertiら(2007)の解析結果を再現する求解アルゴリズムを開発した。しかしながらこれらの先行研究では、各銘柄の収益率が各々独立に同一分布に従うことを仮定しており、現実の取引市場を特徴づけているとは言えず、投資家にとって有益な知見である最適な投資行動を十分に支援できているとは言えない。

2. 研究の目的

本研究では、カップリングやトレンドなどの各銘柄の収益率の間に含まれる「相関」を特徴づけ、それらを考慮に入れて既存手法を改良し、より柔軟な対応ができる最適化手法の構築を行う。そのために、各銘柄間に含まれる相関と最小投資リスクの典型的な振る舞いの関係を明らかにし、より安全な投資行動を実現するための知見を提供する。特に各銘柄間に含まれる相関(カップリング)と時系列に含まれる相関(トレンド)をそれぞれランダム行列で表し、さらに2種類のランダム行列のクロネッカー積を用いて、最小投資リスクと2種類の「相関」の関係を明らかにする。またランダム行列アンサンブルにより導出される2種類のランダム行列の漸近固有値分布や関係式を用いて、先行研究の解析手法をより一般的な形に理論拡張を行い、情報統計力学で得られた結果との関連性を明らかにする。

3. 研究の方法

本研究では上記の研究目的を踏まえ、以下の3点を明らかにする。

- (1)相関と投資リスクの関係：各銘柄間の収益率に含まれる相関と最小投資リスクの関係を明らかにする。
- (2)ランダム行列のクロネッカー積が与える影響について：平均分散モデルの最適解における2種類のランダム行列のクロネッカー積から受ける影響を定量的に評価する。
- (3)求解アルゴリズムの開発：収益率の相関を特徴付けられるように確率伝搬法を拡張した適応 TAP 方程式を用いて、求解アルゴリズムを開発する。

4. 研究成果

本研究で得られた結果を3つの課題に分けて以下に示す。

(1) 相関と投資リスクの関係

ポートフォリオ最適化問題の代表的な平均分散モデルにおいて、投資対象となる各銘柄の投資期間中に発生する収益率で構成された分散共分散行列の逆行列を用いて、空売り規制がない場合、最小投資リスクを評価することができるが、一般的に言えば、逆行列を求解するために必要な計算量が銘柄数の3乗に相当しており、銘柄数が大きくなるにつれて増大するという問題を抱えていた。そこで研究代表者は Ciliberti(2007)らの先行研究に倣い、レプリカ法を用いて銘柄数の3乗に比例する計算量を必要とせず、平均分散モデルの最小投資リスクを評価することができる、つまり最小投資リスク(正確には最小投資リスクの典型値)が満たす関係式を導出することに成功した。この関係式は投資システムを特徴付ける少数のマクロ変数により構成されており、さらに上記の銘柄数の3乗に比例した計算量が必要であるという問題を回避することもできた。また各銘柄に相関が含まれる場合を解析できるようにこの関係式を拡張し、銘柄群に含まれる相関と最小投資リスクの関係や数理的構造を明らかにした。

(2) ランダム行列のクロネッカー積が与える影響について

上記の課題の関係式の拡張を行うにあたり、銘柄間の「相関」として、(a)銘柄群で起こる競合関係や相補関係、連結関係などを特徴づける銘柄間の相関(カップリング)と(b)季節変動やニュースの伝搬による影響を考慮した時系列の相関(トレンド)の2種類に分け、これらの相関がある場合の少数のマクロ変数間の関係式を導出した。特に2種類の相関をマクロ変数間の関係式に組み込む際に、ランダム行列アンサンブルの方法を用いる必要があるが、そのアンサンブルとして、収益率行列で求まる分散共分散行列に対してランダム行列アンサンブルを仮定するのではなく、収益率行列を生成する確率分布の母数行列に対してランダム行列アンサンブルを仮定することで、マクロ変数間の関係式を容易に拡張することができた。収益率行列に比べ、その母数行列の方が参照できるサンプル数に対して安定的であり、さらに推定も容易であるため、実際の最適な投資行動を十分に支援できることが期待される。

(3) 求解アルゴリズムの開発

上記のようにクロネッカー積により収益率行列の相関構造を分解し、収益率行列のアンサンブルではなくその母数行列におけるランダム行列アンサンブルを扱うことで、レプリカ解析と同様に、先行研究で開発した確

率伝搬法（を拡張した適応 TAP 方程式）に基づく求解アルゴリズムを銘柄群に相関が含まれている場合に拡張することができた。さらに求解アルゴリズムを適応 TAP 方程式で定式化することで、内部構造として収益率の相関構造の中で最適解に影響を与える要因が満たす関係式を導出することができ、その関係式から得られた要因を用いることで、求解アルゴリズムを従来法に比べて高速化することができた。また従来の求解法では、最適解を求める際に必要な計算量は銘柄数の 3 乗に比例していたことに対し、本研究で得られた求解アルゴリズムの計算量は銘柄数の 2 乗に比例していることから、大規模な投資市場において有意な差がみられると期待される。

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 10 件)

1. 姜東暁, 新里隆, 星野満博, 張人千, 郭偉宏, 分枝限定法による 2 次新製品設計モデルとその 1 次等価変換の最適化解析, 日本経営工学会論文誌, Vol. 65, No. 1, pp. 9-16, (2014) (査読有)
2. 若井亮介, 新里隆, 嶋崎善章, ランダム行列を用いたポートフォリオ最適化解析, 日本経営工学会論文誌, Vol. 65, No. 1, pp. 17-28, (2014) (査読有)
3. 長嶋利治, 新里隆, 郭偉宏, EV 給電スタンドの最適施設配置問題, 日本経営工学会論文誌, Vol. 64, No. 4, pp. 557-560, (2013) (査読有)
4. Dongxiao Jiang, Takashi Shinzato, Mitsuhiro Hoshino, Ikou Kaku, Boltzmann Machine Approach with Mean Field Approximation for Solving Estimation of Product Design Parameters, 2013 Asian Conference of Management Science and Applications (ACMSA2013), (2013) (査読有)
5. Christian Crowley, Kazushi Ito, Shuhei Kudo, Yoshiaki Shimazaki and Takashi Shinzato, Measuring Nonmarket Benefits of Environmental Projects: A Case of Reclamation Project in Japan, 82nd Annual Meeting, Southern Economic Association, S-Q-29, (2012) (査読有)
6. Ikou Kaku, Dongxiao Jiang, Takashi Shinzato, Mitsuhiro Hoshino, Y. Yin and Yang Yu, Definition, Model and Algorithm of New Product Design Considering Life Cycle and Architectures, International Symposium on Reliability Engineering and Risk Management, (2012) (査読有)
7. Dongxiao Jiang, Takashi Shinzato, Hiroshi Sugiyama, Mitsuhiro Hoshino,

Yang Yu and Ikou Kaku, A One-Bit-Variant Neighborhood Algorithm for Solving the Combinatorial Product Design Model, 11th International Conference on Industrial Management, (2012) (査読有)

8. 新里隆, 平均分散モデルの最適解の自己平均性を用いた理論解析, 不確実性の下での数理的意思決定の理論と応用研究会, 京都大学数理解析研究所講義録, (2013) (査読無)
9. 新里隆, レプリカ解析を用いたシャープ比の典型値評価, 電子情報通信学会技術報告, Vol. 113, No. 286, pp. 91-98, (2013) (査読無)
10. 新里隆, 収益率が相互に影響する銘柄群と複数の制約条件を持つポートフォリオ最適化問題の情報統計力学, 電子情報通信学会技術報告, Vol. 112, No. 279, pp. 327-334, (2012) (査読無)

〔学会発表〕(計 18 件)

1. 渡邊皇介, 新里隆, 嶋崎善章, 星野満博: 確率不等式を用いた地震保険料率の評価, 平成 25 年度日本経営工学会秋季研究大会, (2013) (一般講演)
2. 新里隆, 期待収益最大化問題の情報統計力学, 平成 25 年度日本経営工学会秋季研究大会, (2013) (一般講演)
3. 姜東暁, 新里隆, 星野満博, 郭偉宏, ボルツマンマシンによる新製品設計モデルにおける係数パラメータの推定解析, 平成 25 年度日本経営工学会秋季研究大会, (2013) (一般講演)
4. 新里隆, レプリカ解析を用いたシャープ比の評価, 日本物理学会 2013 年秋季大会, (2013) (一般講演)
5. 新里隆, 長嶋利治, 郭偉宏, 最適施設配置問題の平均場近似解析, 日本物理学会 2013 年秋季大会, (2013) (一般講演)
6. 姜東暁, 新里隆, 星野満博, 張人千, 郭偉宏, 1 次等価変換による 2 次新製品設計モデルの厳密解析, 平成 25 年度日本経営工学会春季研究大会, (2013) (一般講演)
7. 新里隆, 情報統計力学を用いたシャープ比の評価, 平成 25 年度日本経営工学会春季研究大会, (2013) (一般講演)
8. 新里隆, 長嶋利治, 郭偉宏, 空間情報を考慮した EV 給電スタンドの最適施設配置問題, 平成 25 年度日本経営工学会春季研究大会, (2013) (一般講演)
9. 新里隆, 浅岡伸伍, 郭偉宏, 複数の商品間の相関を考慮した安全在庫管理路理論解析, 平成 25 年度日本経営工学会春季研究大会, (2013) (一般講演)
10. 新里隆, 線形制約のあるポートフォリオ最適化問題の情報統計力学, 平成 24 年

- 度日本経営工学会秋季研究大会, (2012)
(一般講演)
11. 星貴裕, 新里隆, 嶋崎善章, 家庭廃棄物処理負担の経済評価, 平成 24 年度日本経営工学会秋季研究大会, (2012) (一般講演)
 12. 上野悠太, 新里隆, 嶋崎善章, 地方都市での住宅価格形成における公園緑地の効果, 平成 24 年度日本経営工学会秋季研究大会, (2012) (一般講演)
 13. 新里隆, 姜東暁, 星野満博, 嶋崎善章, 郭偉宏, 施設配置問題に対する平均場近似解析, 平成 24 年度日本経営工学会春季研究大会, (2012) (一般講演)
 14. 姜東暁, 新里隆, 杉山博史, 星野満博, 郭偉宏, 製品設計の組合せ最適化モデルに適用する 1 点変動近傍アルゴリズムの提案, 平成 24 年度日本経営工学会春季研究大会, (2012) (一般講演)
 15. 伊藤美奈子, 新里隆, 杉山博史, 郭偉宏, 印象評価を用いた温度感覚に影響する音の特性に関する研究, 平成 23 年度日本経営工学会東北支部卒業研究修士論文発表会, (2012) (一般講演)
 16. 原田樹亨, 新里隆, 杉山博史, 郭偉宏, 実売上げデータを用いた需要分布の推定とロストセールに関する研究, 平成 23 年度日本経営工学会東北支部卒業研究修士論文発表会, (2012) (一般講演)
 17. 本間大貴, 新里隆, 杉山博史, 郭偉宏, 顧客動線を考慮した書店レイアウトの提案, 平成 23 年度日本経営工学会東北支部卒業研究修士論文発表会, (2012) (一般講演)
 18. 鎌田翔太, 新里隆, 杉山博史, 郭偉宏, 生産方式の違いが小型製品の組み立て作業動佐に及ぼす影響, 平成 23 年度日本経営工学会東北支部卒業研究修士論文発表会, (2012) (一般講演)

〔図書〕(計 1 件)

1. 小間篤, 新里隆, 他, ひとつくりものづくりー秋田県立大学の挑戦ー, 秋田魁新報社, (2013).

〔その他〕

1. 若手奨励賞: The Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) Computational Intelligence Society Japan Chapter, (2012)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

新里 隆 (SHINZATO Takashi)

秋田県立大学システム科学技術学部・助教
研究者番号: 70574614

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者
なし