

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 14 日現在

機関番号：32515

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2010～2012

課題番号：22510158

研究課題名（和文）

急成長する排出権取引市場におけるバブル発生の監視とリスク推定に関する研究

研究課題名（英文）

Research on the surveillance and risk estimation of bubble in the emission-trading market growing rapidly

研究代表者 山崎 和子 (YAMASAKI KAZUKO)

東京情報大学・総合情報学部・教授

研究者番号：70265510

研究成果の概要（和文）：

本研究の目的は、二酸化炭素排出権取引価格と、株価、為替、電力の価格、化石エネルギーの価格、景気、天候などの要因間の相関構造を明らかにすることにより、投機市場と相関を持つ排出権取引の将来予想されるバブル発生の監視とリスクの推定を行うことである。そのため、次のような研究を行った。各要因時系列の相関の強さより距離を定義して最小全域木を求め、これらの要因間の相関構造をネットワークとして表した。次に、各要因時系列間の時間遅れのある相関から時間遅れの大きさを調べた。その結果、株価から、排出権取引価格は約 90 日、原油は約 30 日、の時間遅れがあることを発見した。この研究成果を記載した論文は *Physical Review E (Impact Factor: 2.255)* に掲載された。さらに、この結果を利用して排出権価格のリスク推定の研究を継続して行っている。また、本研究の期間中に様々な天災が起きた。タイで起きた洪水がコンピュータ関連の産業に、東日本大震災が自動車関連の産業に壊滅的打撃を与え、その影響が世界中に広がった。このような危機の連鎖とバブルの発生とは深く関わっていると考えられ、これらの現象を二酸化炭素排出量の方向から捉えることで、本研究の目的達成に貢献すると考えた。そこで、アジア各国において、産業区分ごとの二酸化炭素排出量がどのように影響しあっているかを示すネットワーク構造を、アジア国際産業連関表と環境負荷原単位データブックを用いて明らかにした。結果を *International Conference on Business Management & Information System(ICBMIS)* において発表をし、Best Paper Award を授与された。

研究成果の概要（英文）：

The purpose of this research is to perform the surveillance of bubble and estimation of a risk which will be expected in the future CO2 emission-trading market correlated with speculative markets, by clarifying correlation structure between the CO2 emission-trading prices and factors, such as stock prices, money exchange rates, prices of electric power, prices of fossil energy, business, and the weather. Therefore, the following researches were done. From the strength of correlation of each factor time series, a distance was defined, the minimum spanning tree was made, and the correlation structure between these factors was expressed as a network. Next, the size of the time lag was investigated from correlation with the time lag between each factor time series. As a result, it discovered that emission-trading prices had a time lag of about 90 days, and crude oil prices had a time lag of about 30 days, from stock prices. This study was published in *Physical Review E (Impact Factor: 2.255)*. Furthermore, it is carrying out by continuing research of the risk estimation of emission-trading prices using this result. Moreover, various natural disasters occurred during this research. The flood which occurred in Thailand destroyed the computer-related industries, the Great East Japan Earthquake destroyed the automobile-related industries, and the influence spread all over the world. It is thought that the chain of such a crisis is concerned deeply with the bubble. We thought that catching these phenomena from the direction of CO2 emissions contributes to the purpose achievement of this research. So network structure which shows how the CO2 emissions for every industrial classification in

Asian countries influence each other was clarified using the Asia international input-output table and Embodied Energy and Emission Intensity Data. The result was presented in International Conference on Business Management & Information System (ICBMIS), and Best Paper Award was granted.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
22年度	900,000	270,000	1,170,000
23年度	500,000	150,000	650,000
24年度	1,400,000	420,000	1,820,000
年度			
年度			
総計	2,800,000	840,000	3,640,000

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：社会・安全システム科学 ・ 社会システム工学・安全システム

キーワード：排出権取引、市場、複雑ネットワーク、エネルギー市場、リスク管理、投機市場

1. 研究開始当初の背景

・炭素排出権取引市場の急成長

世界銀行の報告書「State and Trends of the CO2 Market 2009」によると、2008年に世界の炭素排出権取引市場は、経済危機の中でも取引額で前年の約2倍、円換算で年間1兆3000億円以上の規模となった。これは東京証券取引所の1日の売買代金約2兆円と比較するとさほど大きいものではない。しかし、このまま成長が続けば、2020年には100兆円の規模になるとも言われている。

・他の市場との有機的結合

現在、世界の排出権取引額の80%を占めているEU排出権取引制度（European Union Emission Trading System：EU-ETS）で、取引されている排出権は、発電、石油精製、鉄鋼、紙・パルプ、セメント、ガラス、陶器等のエネルギー集約型事業所に対し、EU加盟国政府が二酸化炭素の排出上限（キャップ）を決め、それに相当する排出権枠を与えたものである。このうち最も多くの排出権を与えられているのが電力会社であり、したがって、電力の価格が上昇すれば、排出権価格も上昇するという関係にある。また、一般に原油などの化石燃料の価格も排出権価格に密接な関係を持っている。その他、猛暑や厳冬は排出権の価格を上昇させ、日照時間や風の強さも、太陽光発電や風力発電を通してこの市場に影響を及ぼす可能性がある。また2008年よりの世界同時不況により排出権価格が下落したように景気にも左右される。

2. 研究の目的

このようにして、炭素排出権取引市場は、株、為替、原油、穀物などの投機市場から孤立無縁に存在することは不可能である。また、現在、世界の投機マネーが原油や穀物などの市場に向かっているように、話題性があり、株や為替に比較して比較的小さい市場はその餌食となりやすい。そのため、将来予想されるバブル発生を監視し、リスクの管理をする有効な方法を開発することを研究の目的とする。

3. 研究の方法

・基本的な時系列と相関構造の分析

各時系列の相関構造を表現するために、相関の強さに基づいて最少樹形を作ることから始める。当初は、EU-ETSのデータは取引ごとの記録（ティックデータ）も提供されており、分足から月足まで様々な時間スケールにおいて分析を行うことを予定していたが、排出権取引市場が成熟していないため、取引頻度不足、取引ルールの変更、各国の政策の変化の影響が価格時系列に見られ、比較的安定をしている日足のデータを用いた。

$Y_i(t)$ を時系列 i の t 日の価格とし、対数価格変動、 $S_i \equiv \ln Y_i(t) - \ln Y_i(t-1)$ の相関係数 ρ_{ij} を用いて、距離 $d_{ij} = \sqrt{2(1-\rho_{ij})}$ を定義する。この距離が、ユークリッド距離を表すことは容易に示せるが、Mantegna (1999) 以降、市場価格についてそれより強いサブドミナント・ウルトラ距離となるという仮説の下

で最小全域木を作るという研究がなされた。ここでは、様々な市場価格間の相関では、相関も逆相関も近い距離であるとした方が理に合っているという認識に基づき相関の絶対値による距離 $d'_{ij} = \sqrt{2(1-|\rho_{ij}|)}$ を用いて最小全域木を作成した。

・時間遅れのある影響の分析

研究代表者山崎は、Yamasaki(2008), Gozolchiani(2008)において、地球上の格子点の温度の時系列の時間遅れのある相関を用いて、格子点間での影響の方向から有向ネットワークを作り、それと異常気象との関係を調べた。また、Yamasaki(2009)では、相関に代えて、非線形な方法である位相同期を用いてエルニーニョの影響を調べた。これと同様の方法を、炭素排出権を含む価格や指標に応用し、影響の方向性を調べることは有用である。

効率的な市場の価格変動（したがって対数価格変動）は、長期記憶を持たないことが多くの研究により明らかになっている。そのために対数価格変動の絶対値を用いて、時間遅れのある相互相関係数を計算し時間遅れを調べる。

$$V_i \equiv |\ln Y_i(t) - \ln Y_i(t-1)|$$

$$C_{ij}(n) \equiv \langle (V_i(t) - \langle V_i \rangle)(V_j(t+n) - \langle V_j \rangle) \rangle / \sigma_i \sigma_j$$

この対数価格変動の絶対値の相互相関 $C_{ij}(n)$ が最大値をとる n の値を時間遅と定義する。

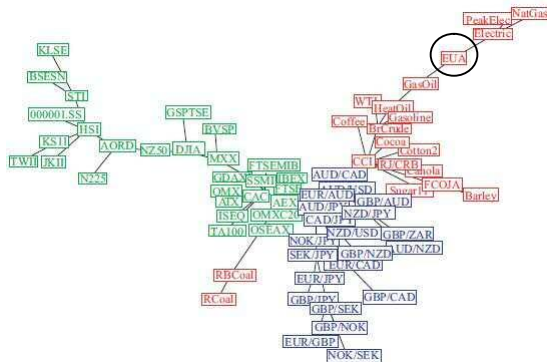
・長期記憶を利用したリスクの推定

研究代表者山崎は、Yamasaki(2005a)において長期記憶を持つ様々な時系列について、一定幅以上の変動の生起間隔 τ の確率密度関数は平均生起間隔 $\langle \tau \rangle$ のスケール関数で現わされることを発見した。このことは、大きな幅の変動の頻度は小さく τ の統計的性質は悪いが、その確率密度関数を、統計的性質の良い小さな変動の確率密度関数から推測することができることを意味する。さらにYamasaki(2005b)では、ファイナンスの分野で、リスクの指標として広く使われているバリュー・アット・リスクは、平均生起間隔 $\langle \tau \rangle$ と直接的に結びついていることを示し、スケール変換することによりダイナミックなリスクの推定が可能になることを示した。この方法を、炭素排出権価格に応用し、リスクの推定ができると考えている。

我々は、このような新しい方法を用いることによって、排出権取引のバブル発生を監視し、市場の安定化をはかる方法を確立するという着想に至った。

3. 研究成果

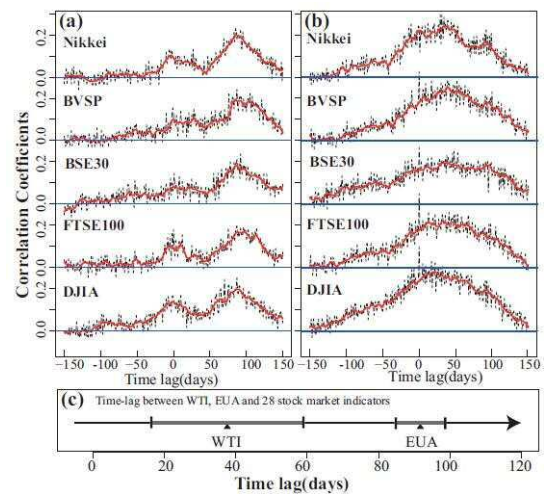
・基本的な時系列と相関構造の分析
2007年1月より2011年9月のデータを用いて作成をした最少樹形を以下に示す。



丸のついたノードが炭素排出権市場（EUA）を表す。赤は商品その他の市場、青は為替市場、緑は株式市場を表す。EUAの周辺に、各種電力市場、各種原油市場、天然ガス市場が、隣接しているのがわかる。

・時間遅れのある影響の分析

下のグラフは、時間遅れのある相関の値を、横軸の時間遅れに対して描いている。



(a)は、EUAと主な5個の株式市場、(b)は原油市場(WTI)と主な5個の株式市場についての時間遅れのある相関を表している。(c)の太い横線はEUAおよびWTIと28個の株式市場の間の時間遅れの範囲、▲はその平均値を示している。ここで、時間遅れは図(a)(b)で各線が最大値をとる時の横軸の値である。EUAは約90日、WTIは約30日の時間遅れがあることが解る。

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6件)

①Zeyu Zheng, Kazuko Yamasaki, Joel N. Tenenbaum, and H. Eugene Stanley
Physical Review E, 査読有, 87 巻、 pp. 2013、
012814-1 - 7
DOI: 10.1103/PhysRevE.87.012814

②Kazuko Yamasaki, Takeshi Fujiwara, Kousuke Yoshizawa, Shuhei Miyake, Zeyu Zheng, Xiang Gao, Naoko Sakurai
Proceedings of 18th International Symposium on Artificial Life and Robotics, 査読有, 2013、 pp. 334-337

③Zeyu Zheng, Kazuko yamasaki, Jun Yang
Proceedings of 18th International Symposium on Artificial Life and Robotics, 査読有, 2013、 pp. 324

④Kazuko. Yamasaki, Takeshi. Fujiwara, Kousuke. Yoshizawa, Shuhei. Miyake, Zeyu Zheng, Xiang Gao, Naoko. Sakurai
Proceedings of International Conference on Business Management & Information System, 査読有, 2012、 pp. 213-219

⑤X. Gao, T. Fujiwara, N. Sakurai, K. Yoshizawa, S. Miyake, Z. Zheng, K. Yamasaki
Proceedings of 17th International Symposium on Artificial Life and Robotics 査読有, 2012, pp. 346-349

⑥Zeyu Zheng, Naoko Sakurai, Takeshi Fujiwara, Kousuke Yoshizawa, Kazuko Yamasaki
Proceedings of 17th International Symposium on Artificial Life and Robotics 査読有, 2012, pp. 350-353

〔学会発表〕 (計7件)

①山崎和子, 統数研共同研究集会「経済物理学とその周辺」2013年03月14日～15日 統計数理研究所

②Kazuko Yamasaki
International Symposium on Artificial Life and Robotics, 2013年01月30日～02月01日, Daejeon, Korea

③Zeyu Zheng, Kazuko Yamasaki
International Symposium on Artificial Life and Robotics, 2013年01月30日～02月01日, Daejeon, Korea

④Kazuko Yamasaki
International Conference on Business

Management & Information System(ICBMIS), 2012年11月22日～24日, Singapore Management University

⑤Kazuko Yamasaki
The Inaugural Conference on Human Development in Asia (PRESCO) 2012年08月06日～09日, Hiroshima, Japan

⑥X. Gao, K. Yamasaki
Proceedings of 17th International Symposium on Artificial Life and Robotics, 2012年1月19日～21日, Beppu, Japan

⑦Zeyu Zheng, Naoko Sakurai, Takeshi Fujiwara, Kousuke Yoshizawa, Kazuko Yamasaki
Proceedings of 17th International Symposium on Artificial Life and Robotics, 2012年1月19日～21日, Beppu, Japan

〔図書〕 (計0件)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

○取得状況 (計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等
なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

山崎 和子 (YAMASAKI KAZUKO)
東京情報大学・総合情報学部・教授
研究者番号：70265510

(2) 研究分担者

櫻井 尚子 (SAKURAI NAOKO)

東京情報大学・総合情報学部・教授

研究者番号：50196127

吉澤 康介 (YOSHIKAWA KOSUKE)

東京情報大学・総合情報学部・准教授

研究者番号：50296216

藤原 丈史 (FUJIWARA TAKESHI)

東京情報大学・総合情報学部・准教授

研究者番号：60348456