# 貴金屬市場的波動外溢與緩長記憶效果之研究—GARCH、EGARCH與FIGARCH模型

## 林容如

國立台北商業大學財務金融系 副教授

# 陳勝源\*

國立台北商業大學財務金融系 教授

# 陳柔涵

玉山銀行內湖分行 專員

## 摘要

本研究利用 GARCH、EGARCH 與 FIGARCH 模型探討黃金、白銀、鉑和 鈀等貴金屬在考慮利率、美元匯率、股價指數等總體經濟變數下之波動外溢效果、漲跌不對稱效果以及緩長記憶效果。由 GARCH 與 EGARCH 顯示報酬傳遞機制係由利率傳遞至黃金、白銀、鉑。又因美元與黃金、白銀皆是國際準備資產,美元匯率的衝擊變大會減緩黃金、白銀波動度;但是卻加劇鈀的波動度。雖然鈀也是貴金屬的一員,但是其屬性與其他三個貴金屬差異頗大。另外,2008年次貸金融風暴會對四個貴金屬均產生正向之波動外溢效果。由 EGARCH 結果顯示,僅有鈀的波動度存在漲跌不對稱效果;而在預期壞消息時白銀會是較佳的避險商品。

另一方面,FIGARCH實證結果得知四種貴金屬的波動皆存在緩長記憶效果,其中鈀受到衝擊的影響期間較長,而鉑的影響期間最短,表示四種貴金屬除了短期會受衝擊影響,且影響期間還會持續一段時間後再隨之遞減。

關鍵詞:貴金屬市場、報酬傳遞機制、波動外溢效果、緩長記憶效果

\*通訊作者:陳勝源

聯絡地址:台北市濟南路一段 321 號

電話:(02)2322-6516 E-mail:chensy@ntub.edu.tw

# Volatility Spillover and Long Memory in Precious Metal Markets—GARCH, EGARCH and FIGARCH Models

## Jung-Ju Lin

Department of Finance, National Taipei University of Business, Associate Professor

#### **Shen-Yuan Chen**

Department of Finance, National Taipei University of Business, Professor

#### Jou-Han Chen

Neihu Branch, E. Sun Bank, Banking Executive

#### **Abstract**

This paper employs three models of the GARCH family (GARCH, EGARCH and FIGARCH) to investigate the volatility spillovers, leverage effects and long-memory properties of four major precious metals(gold, silver, platinum and palladium), while account for the macroeconomic shocks of US interest rate, US exchange rate, S&P500 Index and VIX index. The empirical results of GARCH and EGARCH shows that the return transmission takes place from interest rate to the precious metal markets except palladium. In Addition, since US dollar, gold and silver are international reserve assets, US exchange rate shocks have dampening effects on the volatilities of gold and silver whereas heightening effects on palladium. These results point to differences between palladium and other three precious metals. Precious metals are too distinct to be considered a single asset class. Furthermore, the 2008 Subprime Mortgage Crisis heightens all precious metal volatilities. The EGARCH results suggest that the leverage effect is present and significant for palladium only, implying that silver can be good investment in anticipation of bad times.

On the other hand, the FIGARCH shows that the volatility processes of the four precious metals exhibit long-memory properties. The volatility of palladium exhibits the highest long- memory and platinum exhibits the shortest one. Not only does these four precious metals affected by shocks in short run but also gradually decayed as time passes.

**Keywords**: Precious metal market, Return transmission, Volatility spillover, Long memory

## **青、緒論**

在過去的幾十年中,國際金融市場經歷了一連串不同原因的嚴重金融危機。例如 1994 年墨西哥金融危機,1987 年因美國的股市崩盤,進而影響全球股市重挫。1997-1998 年亞洲金融危機始於南亞經濟短期資本流動的結果,然後蔓延到其他新興股票市場和大宗商品市場。2001 年由網絡泡沫引起美國經濟衰退,2007-2010 年由美國的次貸房地產危機引發全球金融危機,及 2011 年歐債危機。大部分這些危機的特點具有高波動性和危機蔓延 (Forbes and Rigobon,2002; Lee, Wu, and Wang, 2007; Markwat, Kole, and Van Dijk, 2009)。高波動性和廣泛的危機蔓延促使投資人必須考慮增加替代的投資標的,建構多樣化的投資組合,以規避投資組合僅選擇股票來分散投資風險之不足,因此近年來大宗商品如:原油和黃金、白銀、鈀、鉑等貴金屬,逐漸成為投資人納入多樣化投資組合的理想資產類別。這是因為原油和貴金屬等商品提供不同的波動性並且其報酬與股票相關性較低 (Arouri and Nguyen, 2010; Daskalaki and Skiadopoulos, 2011)。

全球金融危機以及能源、貴金屬、工業金屬與農產品等各行業的商品價格上漲導致了研究者以及決策者有興趣了解商品市場波動之動態過程。雖然大宗商品價格上漲使投資人獲取較高的報酬,但是也提高產業的投入成本並造成經濟體系的通膨壓力,因此也吸引眾多投資人進入商品市場,進而導致商品市場價格與波動度之上漲 (Baffes, 2010; Chan et al., 2011)。在這種情況下,乃引起許多學者紛紛去研究商品市場價格序列之動態特性,如波動群聚(volatility clustering)與長期持續性(long persistence)、槓桿效果以及長期記憶(long memory)等。特別是在經濟環境中呈現不同程度之不確定性,無論在衍生性商品定價或是投資組合管理與風險管理,波動的動態過程扮演了重要的角色,其也影響了貨幣政策的穩定性與有效性 (Byrne et al., 2013)。

過去多數的文獻主要在探討原油和其他能源價格的動態變化,這些研究結果顯示不同能源商品價格之間有顯著的外溢效果,及這些商品價格的報酬具非線性、不對稱和其他如隨時間變化的波動群聚和長期持續性等分配特性。然而僅有少數文獻在研究貴金屬價格的動態變化以及報酬分配特性,因此利用適合的模型來捕捉貴金屬價格的波動特性將是本研究之重心所在。因此本研究利用GARCH、EGARCH模型分析黃金、白銀、鈀、鉑等貴金屬市場是否會受到美國利率、美元匯率、股市等總體經濟因素之報酬傳遞機制(return transmission)與波動外溢效果(volatility spillovers),以及波動度外溢之漲跌不對稱效果。

然而,傳統之 GARCH 模型,允許條件變異數不僅受到前期誤差項平方所影響,也會受到前期條件變異數所影響,其可以捕捉金融資產波動性隨時間的變動而改變之特性。但是,開始有學者發現金融資產的波動性會隨著時間的拉長而呈緩慢衰退之現象(Cochran, Mansur and Odusami, 2012; Arouri, Hammoudeh, Lahiani and Nguyen, 2012),因此本研究也利用 FIGARCH 模型,研究四種貴金屬是否亦存在緩長記憶效果,也就是是否具有長期波動持續性(volatility persistence)的現象。

本研究共分為五個部份,第壹部份為緒論,第貳部份為文獻探討,第參部 份為研究方法,第肆部份為實證結果,第伍部份為結論與建議。

# 貳、文獻探討

大部分過去的貴金屬的研究基本上可以分為三大類。第一類為總體經濟變 數對貴金屬價格的影響,第二類為貴金屬、工業金屬之價格波動與訊息傳遞, 第三類為長期記憶性相關文獻。分別敘述如下:

# 一、總體經濟變數對貴金屬價格的影響文獻

Soytas, Sari, Hammoudeh, and Hacihasanoglu (2009) 分析在土耳其伊斯坦堡 黄金交易所(Istanbul Gold Exchange, IGE)交易之黄金、白銀、世界原油價格、美元兌里拉匯率、與土耳其債券利率之長期與短期動態關係。由 Granger 因果關係檢定得知,世界原油價格對於土耳其市場的黃金、白銀價格、里拉匯率與債券利率並無預測能力。不過,土耳其利率對於里拉匯率與黃金、白銀價格有單向因果關係;同時,里拉匯率對於黃金價格有單向因果關係。

Sari, Hammoudeh, and Soytas (2010)採用四種貴金屬(黃金、白銀、鉑和鈀)之每日收盤價、西德州原油現貨價格與歐元兌美元匯率,探討 1999/4/1-2007/10/19 期間,變數間的連動性及資訊傳遞效果。研究結果顯示,變數間不存在共整合關係,表示變數間在短期下雖然會互相影響,但不存在長期穩定之均衡關係。而透過誤差變異數分解可得知,歐元兌美元匯率對貴金屬的影響效果較顯著,但是原油對貴金屬價格變動影響相對較弱。其中,匯率變動對於貴金屬的影響,以黃金和白銀的影響效果是最大的,因為當美元貶值時,投資者為了避險,會賣出美元,並買進黃金和白銀這兩種具有避險能力的金屬商品。

Batten, Ciner, and Lucey (2010)利用因果關係檢定法(block exogeneity causality test)檢定 1986/1 至 2006/5 期間,四種貴金屬(黃金、白銀、鉑和鈀)的價格波動度,與不同總體經濟因素(包含景氣循環、貨幣相關變數和金融市場變數)的波動關聯性。結果發現黃金波動度僅受到貨幣變數的影響;鉑和鈀之波動度則同時受到貨幣變數以及金融變數之影響,由此鉑和鈀比黃金更適合作為金融市場投資工具。儘管白銀屬於貴金屬之其中一員,但是貨幣變數、金融變數卻無法用來解釋白銀波動度。總而言之,四種貴金屬波動度之決定因素個別差異頗大,因此實務上不建議納入同一資產類別。

歐惠玲 (2011)運用 Toda and Yamamoto (1995)提出 VAR 模型,研究 2000/1/4至 2011/3/10 期間四種貴金屬(黃金、白銀、鈀、白金)現貨價格、原油價格與英國富時 100 股價指數(FTSE 100 Index)之領先與落後關係。實證結果發現,富時 100 股價指數單向領先四種貴金屬之價格,且股價變動將對貴金屬價格的變動帶來正向的影響,而受影響程度為鈀金最大而黃金最小。

## 二、貴金屬、工業金屬之價格波動與訊息傳遞文獻

Tully and Lucey (2007)運用 APGARCH 模型,採用 1983 至 2003 年期間黄金之現貨與期貨月價格資料,探討美元及英鎊之有效匯率、布蘭特原油價格、S&P500 及英國富時 100 之股價現貨與期貨指數、英國及美國消費者物價指數、失業率、美國國庫券利率,以及工業生產指數等經濟變數對黃金市場之影響。此外,特別區分出 1987 和 2001 年股票市場衝擊期間之影響。由均數方程式結果顯示,美元會顯著且負向影響黃金價格,然而英國富時 100 股價指數、英鎊匯率、美國國庫券利率、英國消費者物價指數對於黃金價格影響均不顯著。此外,變異數方程式僅 β 顯著,表示黃金價格波動僅受到前期波動之影響,完全不受其他外生變數之影響。

Hammoudeh and Yuan (2008)採用三個 GARCH 模型系列的二因子波動模

型,探討 1990/1/2 至 2006/5/1 期間,在原油和利率衝擊的情況下,測量三個策略性商品:黃金、白銀、銅的波動行為。一般 GARCH 模型的結果顯示,黃金和白銀的條件波動性比銅持久,表示黃金和白銀比銅更適合作為避險資產,因此需以更能準確預測波動性的模型來估計與預測。而 CGARCH 模型顯示短期銅比黃金和白銀的波動度更快收斂到零。然而,在長期,三種金屬有同樣強烈的波動持續性。EGARCH 模型的結果,僅銅存在顯著的漲跌不對稱效果,這意味著在預期景氣不佳時,黃金和白銀會是良好的避險投資標的。

此外,該研究使用國庫券利率代表貨幣政策的指標,當央行預期通貨膨脹提高或是採行緊縮性貨幣政策,提高利率會使黃金、白銀的報酬下降,並且減緩黃金、白銀的波動度,表示貨幣政策在貴金屬商品市場中扮演冷卻的作用。原油的過去衝擊對三種金屬的影響並不相同,原油衝擊對黃金和白銀的衝擊有冷卻效果,對於銅的波動度沒有影響效果。當發生危機(如:2003年的伊拉克戰爭)會加劇三種金屬的波動度。

Hammoudeh, Yuan, McAleer, and Thompson (2010) 以多變量 VARMA — MGARCH、DCC-MGARCH模型,研究 1999/1/4 至 2007/11/5 期間,四種貴金屬(黃金、白銀、鉑和鈀)的條件波動度和依存相關性。顯示四種貴金屬對自身、其他貴金屬過去訊息及波動度具有顯著的長、短期相互關係。此外,當納入匯率和聯邦基金利率的變數,這些結果將更為顯著,而貨幣政策也對貴金屬和匯率波動造成不同的影響。最後,結果顯示,貴金屬有弱的波動外溢效果,但金屬波動對匯率變動有強烈的敏感度,並指出依避險比率,適量的黃金可用來規避匯率風險,其結果可應用於兩資產組合的最適權重和多頭部位的避險比率。

Hammoudeh, Malik, and McAleer (2011)研究 1999/1/4 至 2009/11/12 期間,黃金、白銀、鉑和鈀四種貴金屬價格的報酬波動及相關性動態,並探討相應市場風險和避險管理的影響。風險值模型 (VaR),用於分析貴金屬投資相關的下方市場風險,並設計最適的風險管理策略。使用標準化的風險度量、不同的GARCH模型和半母數推論歷史模擬法來計算貴金屬的風險值,並根據有條件和無條件的統計檢驗說明估計風險值的最佳方法。透過估計風險值評估每日資本費,顯示出具有經濟意涵的重要結果。

吳雅惠 (2009)透過多變量 VARMA-GARCH(1,1)模型,研究 1995/1/3 至 2008/7/8 之黃金期貨、西德州原油期貨及美元指數期貨的日資料,並將樣本分為強勢美元期間與弱勢美元期間,探討三變數之間的關係是否會因為美元的升值或貶值而有差異。研究結果顯示,在強勢美元期間,黃金期貨與美元指數期

貨之間呈現雙向波動外溢效果,而原油期貨對美元指數期貨及黃金期貨僅存在單向外溢效果,即黃金波動與美元指數波動皆會影響原油波動,但原油波動對黃金波動並無顯著影響;在弱勢美元期間,黃金期貨與美元指數期貨呈雙向回饋效果,但原油期貨對美元指數期貨與黃金期貨僅存有單向的波動外溢效果。故當美元強勢時,影響美元走強的因素與原油或黃金的關聯性不高,但當美元走貶時,黃金的替代性角色會再度受到重視,讓黃金價格及原油價格趨於攀升。

高偉婷 (2011)運用共整合 (cointegration)、Granger 因果關係、GARCH 及TGARCH 模型等方法,研究 2000/1/1 至 2010/6/30 期間,原油、美元指數、消費者物價指數與黃金價格間關聯性與報酬波動是否存有外溢效果與金融海嘯與 12 月效應二個虛擬變數對黃金價格之影響,因果關係結果顯示,黃金現貨價格、原油價格與美元指數間不存在一長期穩定關係;黃金與原油報酬、黃金與美元指數報酬、原油與美元指數報酬皆呈現雙向回饋關係。透過 GARCH 模型顯示,黃金與美元指數報酬存在負的雙向報酬外溢效果,黃金則與原油報酬存在正的雙向波動外溢效果;而在金融海嘯時期,黃金、原油與美元指數均呈現波動變大之態勢;12 月效應為則黃金獨有之特性,原油及美元指數報酬皆不存在 12 月效應。另外藉由 TGARH 模型來探討變數間是否存有漲跌不對稱效果,結果顯示黃金報酬率不存在傳統之漲跌不對稱效果。

黃依婷 (2013)採用共整合檢定、Granger 因果關係、動態條件相關係數 (DCC)、GARCH 及 EGARCH 模型等方法,以 2000/1/4 至 2012/10/31 之日資料,探討黃金、白銀與西德州原油價格、S&P500 指數與歐元兌美元匯率間報酬連動,另外亦考慮金融海嘯時期以及美國二輪量化寬鬆(Quantitative easing,QE1~QE2)貨幣政策實施期間,此二個虛擬變數是否對黃金、白銀產生波動外溢效果與漲跌不對稱效果。由共整合檢定結果顯示,黃金價格及白銀價格分別和西德州原油價格、S&P500 股價指數與歐元兌美元匯率間不存在一長期穩定關係。Granger 因果關係發現,S&P500 股價指數與白銀兩者相互具有顯著之解釋能力;而 GARCH 模型顯示,西德州原油與歐元兌美元匯率報酬波動對黃金與白銀報酬產生負向之外溢效果, S&P500 指數報酬波動則僅對黃金報酬產生正向之外溢效果。金融海嘯對黃金與白銀報酬產生正向之外溢效果,而美國二輪量化寬鬆政策僅對白銀報酬產生正向之波動外溢效果。最後,藉由 EGARCH模型發現,黃金與白銀報酬波動皆不存在傳統之漲跌不對稱效果,即好消息的衝擊對黃金與白銀市場波動之影響會大於壞消息的影響。

## 三、長期記憶性相關文獻

Arouri, Hammoudeh, Lahiani and Nguyen (2012)採用 ARFIMA- FIGARCH模型,研究 1999/1/4-2011/3/31 期間,四種貴金屬商品(黃金、白銀、鉑和鈀)報酬和波動之結構性改變與長期記憶特性。結果顯示,貴金屬的報酬和波動過程具有長期依存效果。此外,ARFIMA-FIGARCH模型不僅可精準找出多數貴金屬的長期記憶性,且相較於其它波動模型能提供更好的樣本外預測。最後,該研究主張長期記憶模型相較於結構性改變模型更能詮釋貴金屬的條件波動行為。

Cochran, Mansur and Odusami (2012)運用 FIGARCH(1,d,1)模型,以 1999/1/4至 2009/3/10 期間四種金屬(銅、金、銀、鉑)每日收盤價之日報酬,探討股票市場之隱含波動率(即 VIX 波動率指數)對各金屬之報酬是否具顯著影響力。研究結果顯示股票市場之隱含波動率對於所有金屬之報酬具有顯著影響力且皆為負向關係,尤其銅對於 VIX 最具敏感度,比起其他金屬更緊密地追蹤經濟情況,而黃金對於 VIX 之敏感度最低。研究結果亦顯示,金屬報酬之波動與股票市場之前期隱含波動率之間存在顯著的關係,其中,VIX 的變動對於黃金、鉑、白銀報酬之波動呈現正向關係,而銅報酬之波動與 VIX 之間呈現負向關係。

# **参、研究方法**

在研究方法上,我們利用 GARCH、EGARCH 模型來探討美國利率、美元匯率、S&P500 股價指數、與 VIX 指數等總體經濟變數對四種貴金屬的報酬傳遞機制與波動外溢效果,以及波動外溢之漲跌不對稱效果。另外運用 FIGARCH 分析貴金屬市場是否存在緩長記憶效果,茲分述如下:

## 一、單變量 GARCH 模型

在傳統之經濟與時間序列模型中,一般假設殘差項之變異數為固定,但實際上,許多時間序列資料之變異會隨時間經過而產生變動,而多數之金融性時間序列資料中顯示,金融性變數變動之分配具有高狹峰及厚尾之特徵,並不符合常態分配。有鑑於此,為解決條件變異數可能發生異質變異之現象,Engle (1982)提出 ARCH 模型,其假設時間序列之條件變異數會受到前期平均數所預測之殘差平方項影響,即條件變異數會隨時間經過而變動,此不僅顯示時間序列資料之特徵,更能對時間序列之變異數加以預測。

接著 Bollerslev (1986)更以 ARCH 模型為基礎,擴充為 GARCH(Generalized autoregressive conditional heteroskedasticity)模型,該模型修正了 ARCH 模型中條件變異數之部份,將條件變異數的落遲期資訊整合納入模型中,其優點除了較 ARCH 模型在條件變異數的結構設定上更具有彈性外,並能讓模型在估計參數時更加精簡,亦能藉由過去之波動資訊來預測未來的變化情形,而且利用低階的 GARCH 模型即可表顯出高階 ARCH 模型之結果。一般化形式的GARCH 模型如下所示:

第 i 貴金屬商品之均數方程式 ( Mean equation ):

$$R_{i,t} = c_{0,i} + c_{1,i}e_{i,t-1} + c_{2,i}R_{i,t-1} + c_{3,i}USIR_{t-1} + c_{4,i}DOLLAR_{t-1} + c_{5,i}S\&P500_{t-1} + c_{6,i}VIX_{t-1} + c_{7,i}D08 + c_{8,i}QE2 + \varepsilon_{i,t} , \qquad (\varepsilon_t | I_{t-1}) \sim N(0, \sigma_t^2)$$
 (1)

其中,i代表第i種貴金屬,分別為黃金、白銀、鉑、或鈀。

在此均數方程式(1)中, $R_{i,t}$ 與 $R_{i,t-1}$ 分別表示第 t 期與第 t-1 期第 i 種貴金屬之報酬率, $c_{0,i}$ 為第 i 種貴金屬之截距項, $e_{i,t-1}$ 為共整合誤差修正項(error-correction term)<sup>1</sup>,USIR表示美國十年期公債利率之變動率,DOLLAR表示美元指數之報酬率,S&P500表示 S&P500 股價指數之報酬率,VIX表示 VIX 指數之變動率;而 D08 與 QE2 則分別表示為金融風暴、美國二輪量化寬鬆貨幣政策之二個虛擬變數。 $\varepsilon_{i,t}$ 表示第 i 種貴金屬報酬率之非預期衝擊項(shock term),其符合平均數為零,變異數為 $\sigma_{i,t}^2$ 的常態分配; $I_{t-1}$ 表示在第 t-1 期前所有可利用的資訊集合。

第 i 貴金屬商品之變異數方程式 (Variance equation):

$$\sigma_{i,t}^2 = \omega_i + \sum_{j=1}^p \alpha_{j,i} \varepsilon_{i,t-j}^2 + \sum_{k=1}^q \beta_{k,i} \sigma_{i,t-k}^2 + \varphi_{1,i} U SIR_{t-1}^2 + \varphi_{2,i} DOLLAR_{t-1}^2 + \varphi_{3,i} S \& P 500_{t-1}^2$$

$$+\varphi_{4,i}VIX_{t-1}^2 + \varphi_{5,i}D08 + \varphi_{6,i}QE2$$
 (2)

其中,i代表第i種貴金屬,分別為黃金、白銀、鉑、或鈀。

在變異數方程式中, $\sigma_{i,t}^2$ 與 $\sigma_{i,t-k}^2$ 分別為在第t期與前k期第i種貴金屬之條件變異數, $\varepsilon_{i,t-i}^2$ 為第i種貴金屬落遲j期的均數方程殘差項之平方項, $\alpha_{i,i}$ 用來

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup>貴金屬與其他變數間至少存在一組共整合向量,因此在分析 GARCH 模型時,於均數方程式中多加入誤差修正項。

林容如、陳勝源、陳柔涵—貴金屬市場的波動外溢與緩長記憶效果之研究—GARCH、EGARCH與 FIGARCH模型

偵測第 i 種貴金屬商品第 j 期的過去衝擊效果(past shock effect); $\beta_{k,i}$ 用來偵測第 i 種貴金屬商品第 k 期的過去波動效果(past volatility effect)。j 和 k 分別表示落後的 ARCH 項和 GARCH 項,p 與 q 則分別為 ARCH 效應及 GARCH 效應的落遲期。此外, $\Sigma(\alpha_j+\beta_k)$ 代表收斂至長期均衡的速度,亦可解釋為當面臨衝擊時的波動持續性,其數值愈高代表收斂速度愈慢或波動持續性愈長。而在模型中之 $\phi_{l,i}$ 、 $\phi_{2,i}$ 、 $\phi_{3,i}$ 、 $\phi_{4,i}$ 、 $\phi_{5,i}$  與 $\phi_{6,i}$  分別用來檢驗美國十年期公債利率、美元指數、S&P500 股價指數、VIX 指數等變數之波動度以及金融風暴、美國二輪量化寬鬆貨幣政策之虛擬變數對各貴金屬(黃金、白銀、鉑、鈀)條件變異數是否產生波動外溢效果。

#### 二、EGARCH 模型

在 GARCH 模型之變異數方程中,當期條件變異數為前一期條件變異數及 殘差項之平方,故無法透過殘差項之正負符號來反應好消息與壞消息對貴金屬 價格之衝擊,為決解此問題,本研究採用 Nelson(1991)所提出指數型 GARCH 模型 (Exponential Generalized Autoregressive Conditionally Heteroscedasticity Model,亦稱為 EGARCH 模型)來衡量波動是否具有不對稱效果。故本研究運用指數化轉換之 EGARCH 模型中特殊的變異數方程式,來補捉漲跌不對稱效果。

EGARCH(p,q)模型的報酬率條件均數方程及報酬率變異數方程如下:

第1貴金屬商品之均數方程式:

$$R_{i,t} = c_{0,i} + c_{1,i}e_{i,t-1} + c_{2,i}R_{i,t-1} + c_{3,i}USIR_{t-1} + c_{4,i}DOLLAR_{t-1} + c_{5,i}S&P500_{t-1} + c_{6,i}VIX_{t-1} + c_{7,i}D08 + c_{8,i}QE2 + \varepsilon_{i,t} , \qquad (\varepsilon_t | I_{t-1}) \sim N(0, \sigma_t^2)$$
 (3)

其中,i代表第i種貴金屬,分別為黃金、白銀、鉑、或鈀。

第1貴金屬商品之變異數方程式:

$$\log \sigma_{i,t}^{2} = \omega_{i} + \sum_{j=1}^{p} \alpha_{j,i} \left| \frac{\varepsilon_{i,t-j}}{\sigma_{i,t-j}} \right| + \sum_{k=1}^{q} \beta_{k,i} \log \sigma_{i,t-k}^{2} + \sum_{j} \gamma_{ji} \frac{\varepsilon_{i,t-j}}{\sigma_{i,t-j}} + \varphi_{1,i} U S I R_{t-1}^{2}$$
$$+ \varphi_{2,i} D O L L A R_{t-1}^{2} + \varphi_{3,i} S \& P 5 0 0_{t-1}^{2} + \varphi_{4,i} V I X_{t-1}^{2} + \varphi_{5,i} D 0 8$$
$$+ \varphi_{6,i} Q E 2 \tag{4}$$

其中,i代表第i種貴金屬,分別為黃金、白銀、鉑、或鈀。

EGARCH 模型中的均數方程式與前述之 GARCH 模型相同,但是變異數方程式卻較 GARCH 模型複雜, $\log \sigma_{i,t}^2$ 與  $\log \sigma_{i,t-k}^2$ 分別表示為在第 t 期與前 k 期,黃金、白銀、鉑、鈀時之條件變異數取對數, $\alpha_{j,i}$ 用來偵測衝擊效果; $\beta_{k,i}$ 用來偵測波動效果; $\gamma_{j,i}$ 為用來偵測波動之不對稱性,Engel and Ng (1993)解釋正向和負向衝擊為好消息和壞消息,利用 $\varepsilon_{it-j}$ 和 $\sigma_{it-j}$ 間之關係來檢視消息對條件變異數或波動度的影響,若當 $\gamma_{j,i}$ =0 時,表示波動具有對稱性;反之,當 $\gamma_{j,i}$ <0 時,代表存在漲跌不對稱效果,表示當前期為正向衝擊,即為好消息時, $\varepsilon_{it-j}$ 為正,波動之條件變異數係數為 $\Sigma(\alpha_{j,i}+\gamma_{j,i})$ ;反之,當前期為負向衝擊,即為壞消息時,表示 $\varepsilon_{it-j}$ 為負,波動之條件變異數係數為 $\Sigma(\alpha_{j,i}-\gamma_{j,i})$ 。若當 $\gamma_{j,i}$ <0 且 $\Sigma(\alpha_{j,i}-\gamma_{j,i})$ 大於 $\Sigma(\alpha_{j,i}+\gamma_{j,i})$ 時,表示壞消息相對於好消息為市場所帶來之波動效果來得大,即存在漲跌不對稱效果。而在模型中之 $(\alpha_{j,i}-\alpha_{j,i})$ , $(\alpha_{j,i}-\alpha_{j,i})$ ,均為, $(\alpha_{j,i}-\alpha_{j,i})$ ,以以指數之波動與金融風暴、美國二輪量化寬鬆貨幣政策之虛擬變數對各貴金屬(黃金、白銀、鉑、鈀)條件變異數是否產生波動外溢效果。

#### 三、FIGARCH 模型

近年,有學者進一步發現金融資產之波動性不僅會隨著時間的變動而改變,其變數間的相依性會隨時間的拉長而呈緩慢的衰退,此種現象稱為緩長記憶現象,也就是具有長期波動持續性(volatility persistence)的現象。若變數具有緩長記憶效果,表示各期隨機衝擊對該變數的影響期間,相較於自我回歸移動平均(ARMA)模型之短暫持續性,會有持續一段時間的影響。但於傳統之 GARCH模型中,ARMA模型之條件變異數方程為捕捉短期之波動度,而非衡量長時間波動的狀態,即 GARCH之衝擊期間(半衰期)較短。因此,為同時探討變數序列之長期和短期波動狀態,本研究採用 Baillie, Bollerslev, and Mikkelsen(1996)所提出之部分整合 GARCH模型(fractionally integrated GARCH,簡稱 FIGARCH)檢測資料是否存在緩長記憶現象。FIGARCH(p,d,q)模型設定如下:

第i貴金屬商品之均數方程式:

$$R_{i,t} = c_{0,i} + c_{1,i}e_{i,t-1} + c_{2,i}R_{i,t-1} + c_{3,i}USIR_{t-1} + c_{4,i}DOLLAR_{t-1} + c_{5,i}S\&P500_{t-1} + c_{6,i}VIX_{t-1} + c_{7,i}D08 + c_{8,i}QE2 + \varepsilon_{i,t} , \qquad (\varepsilon_t | I_{t-1}) \sim N(0, \sigma_t^2)$$
 (5)

其中,i代表第i種貴金屬,分別為黃金、白銀、鉑、或鈀。

接著,由GARCH(p,q)模型衍生出FIGARCH(p,d,q)模型之第 i 貴金屬商品變異數方程式:

$$\sigma_{i,t}^2 = \omega + \alpha(L)\varepsilon_{i,t}^2 + \beta(L)\sigma_{i,t}^2 \cdot \omega = \sigma_{i,t}^2[1 - \beta(1) - \alpha(1)]$$
(6)

$$[1 - \beta(L)]\sigma_{i,t}^2 = \omega + \alpha(L)\varepsilon_{i,t}^2 \tag{7}$$

由(8)式,FIGARCH(p,d,q)之條件變異數方程式為:

$$\sigma_{i,t}^2 = \omega + \beta \sigma_{i,t-1}^2 + [1 - \beta(L) - \phi(L)(1 - L)^d] \varepsilon_{i,t}^2$$
(9)

其中,i代表第i種貴金屬,分別為黃金、白銀、鉑、或鈀。

FIGARCH 模型中的均數方程式與前述之(E)GARCH 模型相同,但是變異數方程式卻較為複雜,方程式中, $\psi(L)$ 和[1- $\beta(L)$ ]所有的根皆落在單位圓之外,L為落後運算式(lag operator),d為部分差分係數,其可捕捉序列之長期行為,若 FIGARCH(p,d,q)為平穩過程,則 d 需要滿足  $0 \le d \le 1$  之條件, $(1-L)^d$  為部分差分運算式,會影響波動的遞減速度。相較於 GARCH 模型的幾何率遞減 (geometric decay)之波動持續性,具有緩長記憶的序列則是呈現較緩慢的雙曲線率遞減(hyperbolic decay)。

## 四、資料來源與樣本處理

本研究使用黃金、白銀、鉑和鈀等貴金屬市場現貨每日收盤價格,以及美元指數、S&P500股價指數、美國十年期公債利率與VIX指數等變數每日收盤價格,研究期間從2000年1月4日至2014年11月6日。在扣除非市場交易期間即非共同交易期日後,共計有3561筆日資料。資料來源皆來自Bloomberg資料庫,在變數處理上,均採用現貨之每日收盤價格取自然對數後作為實證研究之資料,以下為四個貴金屬及四個經濟影響變數之說明:

- 1、黃金價格:美國紐約黃金市場為美國財政部與國際貨幣基金(IMF)拍 賣黃金之主要場所,因而成為世界上交易量大且活躍的黃金交易市場,美國為 全球三大產金供給國之一,黃金實體需求亦為全球前幾名。故本研究以美國紐 約交易所(COMEX)之黃金現貨價格為主要指標,報價單位為美元/盎司。
- 2、白銀價格:白銀價格亦是選取紐約商品交易所(COMEX)之白銀現貨價格,且報價單位為美元/盎司。
- 3、鉑、鈀價格:鉑與鈀的價格原是以倫敦鉑鈀市場(LPPM)的定盤價格 為指標,但自 2014 年 12 月 1 日起正式交由倫敦金屬交易所(LME)接管,經 LME bullion 電子拍賣系統操作完成,拍賣結束後,鉑與鈀價格會公佈於 LME 官網上,其報價單位為美元/盎司。
- 4、利率:美國十年期公債為美國財政部發行的政府債券之一,為各年期指標債券中成交最為活絡、流通性最佳之債券,對於利率變動也最為敏感,且其成交行情常牽動其他各年期公債之利率走勢。故本研究以美國十年期公債為利率之代理變數。
- 5、美元匯率:本研究選取美元指數代表美元匯率,美元指數為美元分別兌歐元(EUR)57.6%、日圓(JPY)13.6%、英鎊(GBP)11.9%、加拿大元(CAD)9.1%、瑞典克朗(SEK)4.2%及瑞士法郎(CHF)3.6%等六種主要貨幣匯率之加權幾何平均指數,其權重是以六種貨幣國家與美國之間的貿易交易量為基礎。美元指數可用以衡量美元的強弱程度,基期為100,指數上升代表美元升值;指數下跌代表美元貶值。
- 6、美國 S&P500 股價指數: S&P500 指數是反映美國股市最佳代表指數, 此一指數包括美國經濟領導產業的前五百大企業,自紐約證交所、美國證交所 上市股票中選出 500 家,其中包含 400 家工業類股、40 家公用事業、40 家金 融類股及 20 家運輸類股。儘管 S&P500 指數著重在市場大型股,但指數涵蓋 美國股市近 75%,因此能適當反應整體美國股市的漲跌。
- 7、VIX 指數:又稱為「恐慌指數」,由芝加哥選擇權交易所(CBOE)於 1993 年推出,經由指數選擇權之隱含波動度加權平均計算後所得之指數,用以 反應 S&P500 指數期貨的波動程度。此指數可用來衡量選擇權交易人對未來股 票市場波動度的預期,也能表達投資人的恐慌程度。

# 肆、實證結果與分析

單位:%

## 一、敘述統計分析

本研究將黃金、白銀、鉑和鈀四種貴金屬報酬率,以及美國十年期公債利率(USIR)、美元指數(DOLLAR)、S&P500 股價指數(S&P500)、及 VIX 指數變動率(VIX)之敘述統計列示於表 1,由表中數據顯示,四種貴金屬報酬之平均數皆為正值,其中黃金報酬之平均數最高為 0.0346%,其次是鉑 0.0237%、白銀0.0224%,鈀之平均數最低為 0.0083%。除了 S&P500 指數平均報酬為正報酬之外,其他變數皆為負報酬。在標準差方面,VIX 指數變動率之標準差最高為 6.4445%,美元指數之標準差最低為 0.5198%,表示當衝擊事件發生時,VIX 指數波動之幅度最大,美元指數波動之幅度最小。在貴金屬市場報酬之標準差方面,鈀報酬之標準差最高為 2.1563%,其次是白銀的 2.0079%、鉑的 1.4599%,黃金報酬之標準差最低為 1.1703%,由此可知在投資貴金屬時,鈀與白銀相對有較高的波動風險,兩者的投資風險高於黃金與鉑。

此外,偏態係數方面,僅有 VIX 指數變動率之偏態係數大於零,其機率分配為右偏以外,其他變數之偏態係數皆小於 0,為左偏型態。而觀察到各變數報酬(變動率)之峰態係數皆大於 3,表示所有變數之報酬(變動率)機率分配呈現高狹峰之型態,即存在厚尾(fat tail)現象。再者,透過 Jarque-Bera 檢定常態分配結果發現,在 1%之顯著水準下,各變數報酬(變動率)數列之機率分配不具常態分配特性。在數列同時具有波動叢集與厚尾之情況下,表示數列可能存在ARCH 效果,因此本研究將先對均數方程式之殘差項進行條件變異數之異質性檢定,若資料存在 ARCH 效果後,必須以 GARCH 模型進行配適較為適當。

表 1 變數報酬(變動率)之敘述統計表

			~~ IK	1(2-41)	U.W.C	-1-6-	' ''	
變數名稱	黄金	白銀	鉑	鈀	USIR	DOLLAR	S&P500	VIX
平均數	0.0346	0.0224	0.0237	0.0083	-0.0352	-0.0058	0.0072	-0.0005
中位數	0.0531	0.1279	0.0579	0.0000	-0.0976	-0.0049	0.0547	-0.4963
最大值	10.245	13.180	8.7421	11.524	10.527	2.5199	10.246	49.601
最小值	-9.5121	-20.385	-10.259	-16.998	-17.141	-2.7263	-9.4695	-35.059
標準差	1.1703	2.0079	1.4599	2.1563	1.9523	0.5198	1.2808	6.4445
偏態係數	-0.2710	-1.2771	-0.4792	-0.4386	-0.0879	-0.0139	-0.3545	0.6704
峰態係數	8.9714	13.406	7.8422	7.0817	7.2142	4.4688	10.143	6.9965
Jarque-Bera	5332.8***	17028.9***	3614.1***	2585.4***	2638.9***	320.14***	7642.6***	2635.8***

註: USIR, DOLLAR, S&P500, VIX 分別代表美國十年期公債利率、美元指數、S&P500 股價指數報酬率及 VIX 指數變動率;Jarque-Bera 為檢定變數是否符合常態分配之統計量;\*、\*\*、\*\*\*分別表示為 10%與 5%及 1%之顯著水準。

另外,本研究將四種貴金屬 2000 年至 2014 年之價格走勢繪於圖 1,可藉此看出四種貴金屬間在這段期間的價格變化。由圖形可知,在 2000 年~2001 年因汽車廠商需求量增加,以及蘇聯的供應不穩定,導致國際市場的鉑和鈀價格趨升,鈀價格更是創歷史新高,達到每盎司 1110 美元,相較於 1999 年同期上漲了一倍左右。

在 2008 年金融海嘯前,四個貴金屬都曾經有一波的上漲,其中黃金與白銀主要是受到投資需求增加的影響,兩者分別漲到每盎司約 715 美元與 15 美元,創下 26 年來的新高峰。然而 2008 下半年受美國次級房貸造成金融風暴的影響,貴金屬市場出現明顯跌幅。其後,因各國紛紛推出量化寬鬆政策,促使貴金屬另外一波的飆漲。一方面因美元疲弱、股市恐慌性下跌,使得投資人紛紛將資金轉入貴金屬市場,需求量因此上升,黃金、白銀價格上漲。另一方面投資市場也開始改變以往積極的投機炒作模式,轉變為避險的投資概念,其中黃金與白銀具保值與增值的特性儼然已成為最重要的避險管道。

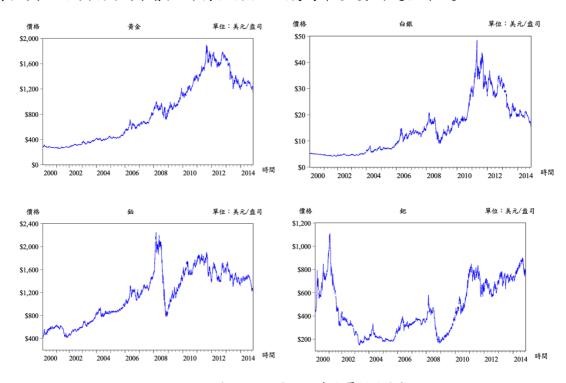


圖 1 2000 年至 2014 年四種貴金屬價格走勢

## 二、變數相關係數

表 2 為黃金、白銀、鉑和鈀四種貴金屬報酬,以及美元指數、S&P500 股價指數、美國十年期公債利率及 VIX 指數變動率間之相關係數。由表可得知,四種貴金屬報酬間之相關係數皆呈現正相關,其中黃金與白銀相關係數最高為0.7687,其次是鉑與鈀之相關係數為0.6079,鈀與黃金的相關係數最低為0.4025。其次,美元指數、VIX 指數變動率分別與貴金屬之相關係數均為負相關,其中美元指數與黃金報酬之負相關最低為-0.4198,而美元指數與鈀之負相關則為-0.2757,由此可知,當美元指數下跌,美元呈現貶值走勢時,貴金屬價格常呈現上漲走勢,其中黃金漲幅最高,鈀的漲幅會最低。而 VIX 指數提高時,代表市場恐慌程度上升,伴隨國際黃金、白銀、鉑與鈀價格下跌。此外,S&P500 指數與貴金屬呈正相關,代表國際股市上漲時,貴金屬價格亦通常呈現上漲。值得一提的是,美國十年期公債利率與黃金報酬呈負相關,其與鉑和鈀等貴金屬報酬則呈正相關。

	黃金	白銀	鉑	鈀	USIR	DOLLAR	S&P500	VIX
黄金	1.0000							
白銀	0.7687***	1.0000						
鉑	0.5128***	0.5435***	1.0000					
鈀	0.4025***	0.4777***	0.6079***	1.0000				
USIR	-0.1122***	0.0072	0.0817***	0.1199***	1.0000			
DOLLAR	-0.4198***	-0.4031***	-0.3042***	-0.2757***	0.0615***	1.0000		
S&P500	0.0036	0.1362***	0.1741***	0.2109***	0.4083***	-0.0977***	1.0000	
VIX	-0.0413**	-0.1553***	-0.1621***	-0.1817***	-0.3469***	0.0870***	-0.7474***	1.0000

表 2 變數相關係數表

註: USIR, DOLLAR, S&P500, VIX 分別代表美國十年期公債利率、美元指數、S&P500 股價指數報酬率及 VIX 指數變動率。表格中數字為皮爾森相關係數; \*、\*\*、\*\*\*分別表示為 10%與 5%及 1%之顯著水準。

## 三、共整合檢定

進行共整合檢定之前題為各變數必須具有相同整合階次,否則將無法進行 共整合檢定。本研究對各變數進行單根檢定,發現黃金、白銀、鉑、鈀、美國 十年期公債利率、美元指數、S&P500股價指數和 VIX 指數皆為一階整合 I(1) 之序列。本研究運用 Johansen 共整合檢定法分別來檢驗各貴金屬與其他經濟變數間是否存在長期均衡關係。

Johansen 共整合檢定法主要提供跡統計量(Trace Statistic)又稱對角元素和統計量,以及最大特性根統計量(Max-Eigen Statistic),用以檢測變數間是否存在長期穩定之均衡關係。因為後續的分析係分別建構四種貴金屬的 GARCH模型,為確認個別貴金屬與其他經濟變數是否存在長期穩定之均衡關係,因此本研究以黃金、白銀、鉑、鈀等貴金屬,分別與美國十年期公債利率、美元指數、S&P500 股價指數和 VIX 指數等經濟變數進行共整合檢定,檢定結果列於表 3。

由表 3 可得,在 5%顯著水準下,跡統計量及最大特性根統計量均拒絕 r=0 之虛無假設,表示存在共整合關係。其次,比較兩種統計量與 5%臨界值,四種貴金屬分別與美國十年期公債利率、美元指數、S&P500 股價指數和 VIX 指數之間共整合檢定皆顯示無法拒絕  $r \le 1$  之虛無假設,表示各貴金屬與其他經濟變數間至少存在一組共整合向量,變數之間具長期穩定之均衡關係,故於探討貴金屬與其他變數間之關聯性時,在分析 GARCH 模型時,於均數方程式中需多加入誤差修正項。

表 3 貴金屬與其他相關變數之共整合檢定表

	黄金價格與 L_USIR, L_DOLLAR, L_S&P500, L_VIX 之共整合檢定								
虚無假設	特性根	跡統計量	5%臨界值	最大特性根統計量	5%臨界值				
r = 0	0.01709	96.06030***	68.52	61.32774***	33.46				
$r \leq 1$	0.00513	34.73256	47.21	18.29616	27.07				
$r \le 2$	0.00290	16.43641	29.68	10.34301	20.97				
	白銀價格與	L_USIR, L_DOLL	AR, L_S&P500,	,L_VIX 之共整合檢定	-				
虚無假設	特性根	跡統計量	5%臨界值	最大特性根統計量	5%臨界值				
r = 0	0.01662	91.21554***	68.52	59.64193***	33.46				
$r \le 1$	0.00409	31.57361	47.21	14.57223	27.07				
$r{\leq}2$	0.00286	17.00138	29.68	10.20220	20.97				
	鉑價格與	L_USIR, L_DOLLA	AR, L_S&P500, 1	L_VIX 之共整合檢定					
虚無假設	特性根	跡統計量	5%臨界值	最大特性根統計量	5%臨界值				
r = 0	0.01609	101.98098***	68.52	57.70128***	33.46				
$r \leq 1$	0.00682	44.27970	47.21	24.34847	27.07				
$r{\leq}2$	0.00278	19.93123	29.68	9.90653	20.97				
	鈀價格與	L_USIR, L_DOLLA	AR, L_S&P500, 1	L_VIX 之共整合檢定					

林容如、陳勝源、陳柔涵—貴金屬市場的波動外溢與緩長記憶效果之研究—GARCH、EGARCH與 FIGARCH模型

虚無假設	特性根	跡統計量	5%臨界值	最大特性根統計量	5%臨界值
r = 0	0.01785	93.56531***	68.52	64.09147***	33.46
$r \leq 1$	0.00383	29.47384	47.21	13.65412	27.07
$r \leq 2$	0.00238	15.81972	29.68	8.47572	20.97

註:黃金價格、白銀價格、鉑價格、鉅價格等貴金屬價格皆經取自然對數;L\_USIR,L\_DOLLAR,L\_S&P500, L\_VIX 分別代表美國十年期公債利率、美元指數、S&P500 股價指數、VIX 指數等變數取自然對數;\*、\*\*、\*\*\* 則分別表示 10%、5%與 1%之顯著水準。

#### 四、GARCH 模型

本節使用傳統 GARCH 模型、EGARCH 模型,研究美國利率、美元匯率、 S&P500 股價指數與 VIX 指數等變數,以及設定金融風暴、美國二輪量化寬鬆 貨幣政策兩個虛擬變數,對黃金、白銀、鉑和鈀等四種貴金屬的報酬傳遞機制 與波動外溢效果,以及波動外溢之漲跌不對稱效果。

配適四種貴金屬報酬之 GARCH(1,2)實證結果參見表 4,觀察各模型之均數方程中,前期美國公債利率會顯著負向影響黃金、白銀和鉑的報酬。而除了黃金之外,美國二輪量化寬鬆貨幣政策會顯著正向影響白銀、鉑和鈀的報酬。這是因為貴金屬除了可用於珠寶用途外,亦可作為投資資產,反映債券與貴金屬彼此為替代關係,代表當利率上升會使債券價格下跌,資金乃由黃金、白銀、鉑等貴金屬市場轉移至債券市場,因此貴金屬市場的報酬下降,此研究結果與 Hammoudeh & Yuan (2008)、Cochran, Mansur and Odusami (2012)相符。另一方面,白銀、鉑和鈀報酬受到量化寬鬆貨幣政策顯著正向影響,表示美國次貸風暴影響全球經濟,世界各國競相採用量化寬鬆貨幣政策(即 QE)以刺激經濟成長,伴隨市場對通貨膨脹的隱憂,投資市場開始轉變為避險的投資概念,由於貴金屬具保值與增值的特性,是投資人最重要的避險工具,因此投資者紛紛將資金轉入貴金屬市場。

在變異數方程中, $\alpha_{j,i}$ 與 $\beta_{k,i}$ 皆顯著異於零,表示四種貴金屬均會受本身前期非預期衝擊及波動度影響,且二者相加小於一,表示此一模型呈現穩定狀態,即上述四種貴金屬之報酬波動會隨著時間經過而逐漸衰退,並收斂至穩定狀態。其次,比較美國公債利率、美元指數、S&P500股價指數和 VIX 指數之波動外溢效果,其中以美元指數對貴金屬波動度影響較為明顯,表示當美元波動增加,會減緩黃金、白銀的波動度,但是會加劇鈀的波動度。因美元與黃金、白銀同樣皆是國際準備資產,美元的衝擊變大會造成黃金、白銀波動度減緩之冷卻效果。鈀雖然也是貴金屬的一員,但其屬性偏向工業用途,當美元的衝擊

變大反而會誘使投資者轉進鈀市場,造成鈀波動度加劇之影響。此外本研究發現前期 S&P500 指數波動會對當期之鉑和鈀產生正向之波動外溢效果,但是對當期之白銀產生負向之波動外溢效果。由於白銀、鉑和鈀使用於工業用途之需求量遠大於珠寶之用途,前者多用於開關、多層陶瓷電容器以及光學數據儲存介質(DVD)的塗層材料;而後者則多使用於汽車產業之催化轉換器,因此當經濟前景變化很大,S&P 指數波動提高將會加劇鉑和鈀之波動度。總而言之,四種貴金屬波動度之影響因素個別差異頗大,因此實務上不建議納入同一資產類別。最後,本研究結果發現 2008 年次貸金融風暴會對四個貴金屬產生正向之波動外溢效果,由於美國次級房貸金融風暴導致全球金融市場動盪,投資人紛紛將資金移轉至較具保值性的貴金屬商品市場,因此加劇四個貴金屬的波動。

接著,本研究亦配適 EGARCH(1,2)模型,探討四種貴金屬報酬率之波動是否存在漲跌不對稱性,其 EGARCH模型之實證結果列示於表 5,由於均數方程式之結果與表 4 的 GARCH 結果類似並未大幅變動,因此在此僅著重於分析四種貴金屬報酬的漲跌不對稱效果。

變數	係數	黄金	白銀	鉑	鈀
			均婁	<b></b>	
<b>学业</b> 石	_	0.02525	-0.02851	0.01601	-0.01662
常數項	$c_{0,i}$	(1.25972)	(-1.11528)	(0.74828)	(-0.51577)
_		0.02434	-0.18146*	-0.39660**	-0.37275***
$e_{i,t-1}$	$c_{1,i}$	(0.22312)	(-1.72845)	(-2.50288)	(-2.83799)
D	_	-0.03785*	0.02144	-1.76505*	0.07756***
$R_{i,t-1}$	$c_{2,i}$	(-1.76505)	(-0.95107)	(1.93809)	(3.29902)
LICID	$c_{3,i}$	-0.05293***	-0.02863*	-0.02830**	-0.02649
USIR <sub>t-1</sub>		(-5.28034)	(-1.79474)	(-2.48972)	(-1.45495)
DOLLAR		-0.03777	-0.03473	-0.08536**	0.04036
DOLLAR t-1	$C_{4,i}$	(-0.9274)	(-0.66719)	(-2.00158)	(0.56961)
C 0 <b>D</b> 500		0.02812	0.07358**	0.04719	0.06433
S&P500 <sub>t-1</sub>	$c_{5,i}$	(1.14397)	(2.35782)	(1.58085)	(1.50329)
VIV	_	-0.00955**	-0.00487	-0.00615	-0.00609
VIX <sub>t-1</sub>	$c_{6,i}$	(-2.16485)	(-0.79771)	(-1.3506)	(-1.03073)
<b>D</b> 00	_	-0.04227	-0.25597	-0.24939	-0.72352***
D08	$c_{7,i}$	(-0.26308)	(-1.15057)	(-1.26843)	(-2.76036)
OF2	_	0.05307	0.24856**	0.12502**	0.37140***
QE2	$c_{8,i}$	(0.98593)	(2.71376)	(2.07607)	(3.46293)

表 4 四種貴金屬報酬之 GARCH(1.2)實證結果

		變異數方程式					
<b>学</b> 和 - 云	•	0.04593***	0.04777***	0.04856***	0.08458***		
常數項	ω	(6.51817)	(3.94046)	(4.02294)	(4.28417)		
-2		0.06282***	0.0955***	0.11701***	0.126***		
$\varepsilon_{i,t-1}^2$	α	(10.8367)	(19.359)	(11.166)	(12.1836)		
_2	0.1	0.91604***	0.21131***	0.32036***	0.30534***		
$\sigma_{i,t-1}^2$	β1	(6.26942)	(3.9393)	(3.41184)	(3.5289)		
_2	02	-0.0148	0.67577***	0.52571***	0.52055***		
$\sigma_{i,t-2}^2$	β2	(-0.10710)	(12.8727)	(5.90106)	(6.59648)		
LICID?	$arphi_{1,i}$	0.00044	0.01082***	0.00196	0.00212		
USIR <sup>2</sup> <sub>t-1</sub>		(0.68772)	(4.56453)	(1.29001)	(0.51437)		
DOLLAD?		-0.04182**	-0.08937***	0.00604	0.47242***		
DOLLAR <sup>2</sup> <sub>t-1</sub>	$arphi_{2,i}$	(-2.56705)	(-2.84703)	(0.16181)	(4.28750)		
C 0 D5002		0.00224	-0.01109***	0.01132**	0.02254**		
$S\&P500^{2}_{t-1}$	$arphi_{3,i}$	(1.10751)	(-3.61086)	(2.14400)	(2.16188)		
X/IX/2		7.39E-05	0.00050**	-0.00012	-0.00074***		
$VIX^2_{t-1}$	$arphi_{4,i}$	(0.91184)	(2.34746)	(-1.13013)	(-3.52832)		
<b>D</b> 00		0.15243***	0.19585**	0.20477**	0.38791**		
D08	$arphi_{5,i}$	(3.70738)	(2.03631)	(2.29582)	(2.50394)		
QE2	<i>(</i> 0 .	-0.00244	0.03166	0.00254	0.03101		
QE2	$arphi_{6,i}$	(-0.49020)	(1.30665)	(0.20256)	(0.92211)		

註:USIR, DOLLAR, S&P500, VIX 分別代表美國十年期公債利率、美元指數、S&P500 股價指數報酬率及 VIX 指數變動率。D08 與 QE2 則分別表示為金融風暴、美國二輪量化寬鬆貨幣政策之二個虛擬變數。估計係數之下方括號內數值為 z-Statistic,\*、\*\*、\*\*\*分別表示 10%、5%、1%之顯著水準。

由表 5 的變異數方程中,可看出 $\alpha_{j,i}$ 與  $\beta_{k,i}$ 皆顯著異於零,表示四種貴金屬均會受本身前期非預期衝擊及波動度影響。檢視參數  $\gamma_{j,i}$ 可知,在 1%之顯著水準下,白銀  $\gamma_{j,i}$ 係數顯著為正,表示白銀的波動性為非傳統之漲跌不對稱效果,由白銀之  $(\alpha_{j,i}+\gamma_{j,i})$ 係數值(0.263)大於  $(\alpha_{j,i}-\gamma_{j,i})$ 係數(0.216),表示前期是好消息相對於壞消息對白銀之條件變異數帶來之波動效果較大,這與先前文獻Hammoudeh,S. and Yuan,Y. (2008)發現黃金、白銀之不對稱效果一致。另外,在5%之顯著水準下,鈀  $\gamma_{j,i}$ 係數顯著為負,表示四種貴金屬中僅有鈀的波動度存在漲跌不對稱效果,鈀之  $(\alpha_{j,i}-\gamma_{j,i})$ 係數(0.294)大於  $(\alpha_{j,i}+\gamma_{j,i})$ 係數值(0.256),由此可知,前期是壞消息相對於好消息對鈀之條件變異數帶來之波動效果較大可看出白銀受到壞消息所帶來之波動影響較不敏感,當風險趨避者預期未來有壞消息時,白銀將會是最佳資金避險之投資標的。

其次,比較美國公債利率、美元指數、S&P500 股價指數和 VIX 指數之波

動外溢效果,前期美元指數波動會對當期之黃金、白銀產生負向之波動外溢效果,但是對當期之鈀產生正向之波動外溢效果,此結果與前述 GARCH 變異數方程相同。不過,不同於前述 GARCH 模型,前期 SP500 指數波動僅會對當期之鈀產生正向之波動外溢效果。最後,與上述之 GARCH 模型相同,2008 年次貸金融風暴會對四個貴金屬產生正向之波動外溢效果,這是因為美國次級房貸金融風暴導致全球金融市場動盪,投資人紛紛將資金移轉至較具保值性的貴金屬商品市場,因此加劇四個貴金屬的波動。

表 5 四種貴金屬報酬之 EGARCH(1,2)實證結果

係數	黄金	白銀	鉑	鈀
		均數	方程式	
	0.02033	0.01085	0.02304	-0.02295
$c_{0,i}$	(1.00253)	(0.41382)	(1.05249)	(-0.70683)
	0.00084	-0.08464	-0.34859**	-0.42537***
$c_{1,i}$	(0.00764)	(-0.77394)	(-2.25239)	(-3.51256)
	-0.03644*	-0.01720	0.04103**	0.05931***
$c_{2,i}$	(-1.69361)	(-0.85043)	(2.24172)	(3.09436)
	-0.05379***	-0.03148**	-0.03146***	-0.02365
$c_{3,i}$	(-5.53214)	(-2.21184)	(-2.803)	(-1.36831)
	-0.02915	-0.02656	-0.05807	0.0537
$c_{4,i}$	(-0.73817)	(-0.53518)	(-1.48467)	(0.84479)
	0.03639	0.06166**	0.05400*	0.06741*
$c_{5,i}$	(1.59124)	(2.08977)	(1.93175)	(1.68979)
	-0.00916**	-0.00612	-0.00511	-0.00729
$c_{6,i}$	(-2.13466)	(-1.05942)	(-1.13195)	(-1.13838)
	-0.02748	-0.10845	-0.23185	-0.64216**
$c_{7,i}$	(-0.16767)	(-0.42342)	(-1.25054)	(-2.87763)
	0.06844	0.17634**	0.10103*	0.40198***
$c_{8,i}$	(1.28962)	(2.01656)	(1.70916)	(4.10785)
		變異數ス	方程式	
	-0.11941***	-0.14587***	-0.18262***	-0.15477***
ω	(-10.7969)	(-18.8073)	(-13.3957)	(-12.0849)
	0.17478***	0.23971***	0.26283***	0.27478***
α	(12.5452)	(25.4121)	(14.9158)	(14.5311)
	0.01204	0.02335***	-0.00256	-0.01900**
γ	(1.25766)	(3.14183)	(-0.23690)	(-2.03284)
	0.80355***	0.25864***	0.39648***	0.44623***
β1	(6.36084)	(7.49408)	(5.28114)	(5.22680)
	0.14889	0.72181***	0.57131***	0.50822***
β2	(1.21357)	(21.1115)	(7.62378)	(6.09919)
	1.14E-03*	2.41E-03***	1.25E-03*	-0.00197**
$arphi_{1,i}$	(1.77964)	(3.76411)	(1.65913)	(-2.06322)
	-	-	•	
	$c_{0,i}$ $c_{1,i}$ $c_{2,i}$ $c_{3,i}$ $c_{4,i}$ $c_{5,i}$ $c_{6,i}$ $c_{7,i}$ $c_{8,i}$	$\begin{array}{c} c_{0,i} \\ c_{1,i} \\ c_{1,i} \\ c_{2,i} \\ c_{3,i} \\ c_{4,i} \\ c_{5,i} \\ c_{4,i} \\ c_{5,i} \\ c_{6,i} \\ c_{7,i} \\ c_{8,i} \\ c_{10.73817} \\ c_{10.73817} \\ c_{10.00916**} \\ c_{6,i} \\ c_{7,i} \\ c_{10.7969} \\ c_{8,i} \\ c_{10.7969} \\ c_{10.7478***} \\ c_{10.7969} \\ c_{10.7969} \\ c_{10.7478***} \\ c_{10.7969} \\ c_{10.7478***} \\ c_{10.7969} \\ c_{10.7478***} \\ c_{10.7969} \\ c_{10.7478**} \\ c_{10.7969} \\ c_{10.7969} \\ c_{10.7478**} \\ c_{10.7969} \\ c_{10.7969} \\ c_{10.7478**} \\ c_{10.7969} \\ c_{10.7969} \\ c_{10.7969} \\ c_{10.7478**} \\ c_{10.7969} \\ c_{10.7969} \\ c_{10.7969} \\ c_{10.7478**} \\ c_{10.7969} \\ $	by $by$ $by$ $by$ $by$ $by$ $by$ $by$	$c_{0,i}$ 0.02033 0.01085 0.02304 (1.00253) (0.41382) (1.05249) (0.00084 -0.08464 -0.34859** (0.00764) (-0.77394) (-2.25239) (-0.03644* -0.01720 0.04103** (-2.i) (-1.69361) (-0.85043) (2.24172) (-0.05379*** -0.03148** -0.03146*** (-5.53214) (-2.21184) (-2.803) (-0.02915 -0.02656 -0.05807 (-0.73817) (-0.53518) (-1.48467) (0.03639 0.06166** 0.05400* (-0.73817) (-0.53518) (-1.48467) (-0.0916** -0.00612 -0.00511 (-2.13466) (-1.05942) (-1.13195) (-0.02748 -0.10845 -0.23185 (-2.13466) (-1.05942) (-1.13195) (-0.02748 -0.10845 -0.23185 (-0.16767) (-0.42342) (-1.25054) (-0.16767) (-0.42342) (-1.25054) (-1.28962) (2.01656) (1.70916) (-1.7999) (-18.8073) (-13.3957) (-10.7478*** 0.23971*** 0.26283*** α (12.5452) (25.4121) (14.9158) (-1.25766) (3.14183) (-0.23690) (-0.80355*** 0.25864*** 0.39648*** (1.25766) (3.14183) (-0.23690) (-1.25766) (3.14183) (-0.23690) (-1.25766) (3.14183) (-0.23690) (-1.25766) (1.21357) (21.1115) (7.62378) (-1.21557) (21.1115) (7.62378) (-1.255-03** 0.1256-03**)

		(-3.67639)	(-4.71755)	(-1.09642)	(2.47008)
C 9-D5002	<i>(</i> 2)	0.00149	-0.00119	0.00176	0.005197***
S&P500 <sup>2</sup> <sub>t-1</sub>	$arphi_{3,i}$	(1.07417)	(-0.89359)	(0.92866)	(3.33385)
VIV2	-	0.000103	5.99E-05	-6.73E-05	-0.00028***
$VIX^2_{t-1}$	$arphi_{4,i}$	(1.36996)	(0.78701)	(-0.78504)	(-2.87188)
D08	<i>(</i> 0	0.08222***	0.05784***	0.04044**	0.03351**
D08	$arphi_{5,i}$	(4.90851)	(3.85455)	(2.28751)	(2.15425)
OE2	<i>(</i> 0	-0.00766	-0.00075	-0.00937	-0.00472
QE2	$arphi_{6,i}$	(-1.24412)	(-0.10777)	(-1.12527)	(-0.58493)

註:USIR, DOLLAR, S&P500, VIX 分別代表美國十年期公債利率、美元指數、S&P500 股價指數報酬率及 VIX 指數變動率。D08 與 QE2 則分別表示為金融風暴、美國二輪量化寬鬆貨幣政策之二個虛擬變數。估計係數之下方括號內數值為 z-Statistic; \*、\*\*、\*\*\*分別表示 10%、5%、1%之顯著水準。

以下本研究將四種貴金屬 GARCH 模型與 EGARCH 模型之收斂速度與漲跌不對稱效果彙整於表 6,  $\alpha_{j,i}$ 與  $\beta_{k,i}$ 的總和為衡量貴金屬收斂至長期均衡的速度或波動持續性,此加總之數值愈高代表收斂速度較慢和持續性較高。由表 6可知,白銀波動持續性最持久為 0.983,故可得知白銀市場在短期受到衝擊的波動持續性相較於其它三種貴金屬市場為長,半衰期(half life)為 39.44 天,表示白銀市場受到衝擊時短期價格會改變,且相較其它三種貴金屬,其價格則最慢回到長期均衡。至於鈀之波動持續性最短為 0.952,表示鈀受到衝擊時,價格回到長期均衡的速度最快,其半衰期為 14.06 天,不到白銀的一半。

表 6 GARCH 系列模型實證結果彙總表

	GARCH(1,2)				EGARCH(1,2)				
	α	β1+β2	α+β1+β2	半衰期		α	γ	α+γ	αγ
黄金	0.063	0.901	0.964	18.935		0.175	0.012	0.187	0.163
白銀	0.096	0.887	0.983	39.440		0.240	0.023	0.263	0.216
鉑	0.117	0.846	0.963	18.424		0.263	-0.003	0.260	0.265
鈀	0.126	0.826	0.952	14.060		0.275	-0.019	0.256	0.294

因傳統之 GARCH 模型中,ARMA 模型之條件變異數方程為捕捉短期之波動度,而非衡量長時間波動的狀態,本研究採用 Baillie et al. (1996)所提出部分整合 GARCH 模型(簡稱 FIGARCH)檢測序列是否存在緩長記憶現象,其可同時探討變數序列之長期和短期波動狀態。若變數具有緩長記憶效果,表示

各期隨機衝擊對該變數的影響會持續一段時間,以研究四種貴金屬報酬率之波動是否存在緩長記憶效果,實證結果列示於表7。

在變異數方程中可知,四種貴金屬之部分差分係數 d 在 0.362 到 0.447 範圍,且顯著異於零,皆落在 0<d<1 間,表示四種貴金屬的波動皆存在緩長記憶效果,其中,鈀的部分差分係數 d 最高為 0.447,白銀次之為 0.406,鉑則最低為 0.362,此結果顯示隨機衝擊對鈀的影響期間較長,而對鉑的影響期間最短。此一實證結果較接近於 Arouri, Hammoudeh, Lahiani and Nguyen (2012),其估計各貴金屬的部分差分係數 d 分別為黃金 0.518、白銀 0.566、鉑 0.514、鈀 0.483;而 Cochran, Mansur and Odusami (2012)所估計之部分差分係數 d 較高,分別為黃金 0.555、白銀 0.577、鉑 0.706。另外,β 係用來偵測短期波動效果,四種貴金屬皆為顯著為正,表示皆存在短期的波動效果。綜合上述結果,FIGARCH(p,d,q)模型不僅捕捉短期波動效果,亦捕捉長期影響的緩長記憶效果,由表 7 顯示四種貴金屬除了短期會受衝擊影響,而此影響期間也會持續一段時間隨之遞減。

表 7 四種貴金屬報酬之 FIGARCH(1,d,1)實證結果

•			( )			
變數	係數	黄金	白銀	鉑	鈀	
			均數ス	7程式		
<b>治</b> 电 云		0.01831	-0.01311	0.00522	-0.03946	
常數項	$c_{0,i}$	(0.81730)	(-0.34759)	(0.19202)	(-0.97773)	
		-0.07946	-0.28205*	-0.77267***	-0.68510***	
$e_{i,t-1}$	$c_{1,i}$	(-0.63332)	(-1.90849)	(-4.13271)	(-4.53212)	
D		-0.03104*	-0.03936**	0.02657	0.05991***	
$R_{i,t-1}$	$c_{2,i}$	(-1.67287)	(-2.14068)	(1.49649)	(3.38190)	
LICID	_	-0.03324***	-0.03068	-0.01242	-0.01016	
USIR <sub>t-1</sub>	$c_{3,i}$	(-2.98612)	(-1.61973)	(-0.90338)	(-0.49954)	
DOLLAR t-1	0	-0.04104	-0.05649	-0.07360	0.02605	
DOLLAR <sub>t-1</sub>	$C_{4,i}$	(-0.97985)	(-0.79775)	(-1.48635)	(0.35971)	
C 8-D500	0	0.03307	0.16312***	0.07999***	0.11173**	
S&P500 <sub>t-1</sub>	$c_{5,i}$	(1.38758)	(4.00841)	(2.70642)	(2.55291)	
VIV	0	-0.00864*	-0.00311	-0.00292	-0.00028	
$VIX_{t-1}$	$c_{6,i}$	(-1.87712)	(-0.39566)	(-0.51314)	(-0.03274)	
D08	$c_{7,i}$	-0.05820	-0.36595**	-0.47306***	-0.85836***	

		(-0.62068)	(-2.26210)	(-4.03623)	(-4.63392)
OE2		0.10365*	0.29345***	0.22946***	0.49745***
QE2	$c_{8,i}$	(1.66815)	(2.96297)	(3.33783)	(4.52943)
			變異數	方程式	
<b>必业</b> 石		0.13172***	0.26070***	0.12773***	0.25987***
常數項	ω	(5.42461)	(5.44442)	(3.47049)	(3.80898)
DIII	1	0.30456***	0.29706***	0.31878***	0.27651***
PHI	$\phi$	(7.18832)	(6.01143)	(3.27061)	(5.27425)
MEMORY	d	0.38929***	0.40587***	0.36243***	0.44698***
MEMORY	ď	(7.77250)	(8.66838)	(6.13448)	(6.77418)
<sub>2</sub> 2	Ω	0.62813***	0.59505***	0.54248***	0.59809***
$\sigma_{i,t-1}^2$	β	(11.25805)	(9.28427)	(4.09240)	(6.89867)

註:USIR, DOLLAR, S&P500, VIX 分別代表美國十年期公債利率、美元指數、S&P500 股價指數報酬率及 VIX 指數變動率。D08 與 QE2 則分別表示為金融風暴、美國二輪量化寬鬆貨幣政策之二個虛擬變數。估計係數之下方括號內數值為 z-Statistic; \*、\*\*、\*\*\*分別表示 10%、5%、1%之顯著水準。

# 伍、結論與建議

#### 一、結論

本研究主要結論包括:由 GARCH 與 EGARCH 模型之均數方程顯示貨幣政策係影響貴金屬商品投資之主要訊息傳遞因素,其中美國公債利率會顯著負向影響黃金、白銀和鉑,反映債券與貴金屬彼此為替代關係,因此當利率上升將使資金由黃金、白銀、鉑等貴金屬市場轉移至債券市場,由此顯示報酬傳遞

林容如、陳勝源、陳柔涵-貴金屬市場的波動外溢與緩長記憶效果之研究-GARCH、EGARCH與 FIGARCH模型

機制係由美國利率傳遞至黃金、白銀、鉑。此外,當各國執行量化寬鬆貨幣政策致美元疲軟,投資人傾向選擇具保值與增值特性之貴金屬。由變異數方程發現美元匯率則是影響貴金屬市場波動外溢性之重要經濟因素,當美元波動增加,會減緩同樣為國際準備的黃金、白銀波動度,但是會加劇鈀的波動度。2008年美國次級房貸風暴將加劇四個貴金屬的波動外溢效果。雖然鈀也是貴金屬的一員,但是其屬性與實證結果與其他三個貴金屬差異頗大。

EGARCH 模型之實證結果亦顯示,四種貴金屬中僅有鈀的波動度存在漲跌不對稱效果,而白銀卻是受到壞消息之波動影響較不敏感,隱含當風險趨避者預期未來有壞消息時,白銀將會是最佳的資金避險投資標的。另一方面,FIGARCH 模型的實證結果得知四種貴金屬的波動皆存在緩長記憶效果,當中鈀受到衝擊的影響期間較長,而鉑的影響期間最短,表示四種貴金屬除了短期會受衝擊影響,且影響期間還會持續一段時間後再隨之遞減。此一估計結果接近於 Arouri, Hammoudeh, Lahiani and Nguyen (2012)。

當金融市場不穩定性提高,全世界資金竄流速度加快,大幅流向大宗商品市場導致商品價格上漲,且加劇金屬、原油市場的波動度。本研究結果對於投資人、基金經理人建構最適投資組合以及預測未來商品市場波動度具有重要經濟涵義。

#### 二、建議

相較於其他 GARCH 模型, FIGARCH 模型本身在估計上難度較高,若再將總體經濟變數放入變異數方程式估計,更增加估計之複雜度與難度。故本研究僅在均數方程式考慮總體經濟變數對貴金屬報酬之影響,而在變異數方程式中只有估計 FIGARCH 模型四個基本的參數,後續研究可設計程式將總體經濟變數納入變異數方程式估計。

# 参考文獻

- 吳雅惠,2009,石油、黃金與美元指數期貨波動外溢效果之探討,南華大學財務管理研究所未出版碩士論文。
- 高偉婷,2011,原油、美元指數、消費者物價指數與黃金價格之波動外溢效果 探討,國立台北商業技術學院財務金融研究所未出版碩士論文。
- 黃依婷,2013,原油、美元與金磚四國股市間報酬連動與波動外溢效果之研究, 國立台北商業技術學院財務金融研究所未出版碩士論文。
- 歐惠玲,2011,影響貴金屬價格因素之實證研究,國立高雄科技應用大學金融 資訊研究所未出版碩士論文。
- Arouri, M. E., Hammoudeh, S., Lahiani, A., and Nguyen, D. K. 2012. Long memory and structural breaks in modeling the return and volatility dynamics of precious metals. *The Quarterly Review of Economics and Finance* 52: 207–218.
- Arouri, M., and Nguyen, D. K. 2010. Oil prices, stock markets and portfolio investment: Evidence from sector analysis in Europe over the last decade. *Energy Policy* 38: 4528–4539.
- Baffes, J. 2010. More on the energy/nonenergy price link. *Applied Economics Letters* 17: 1555–58.
- Baillie, R. T., Bollerslev, T., and Mikkelsen, H. O. 1996. Fractionally integrated generalized autoregressive conditional heteroscedasticity. *Journal of Econometrics* 74: 3–30.
- Batten, J. A., Ciner, C., and Lucey, B.M. 2010. The macroeconomic determinants of volatility in precious metals markets. *Resources Policy* 35: 65–71.
- Bollerslev, T. 1986. Generalized autoregressive conditional heteroscedasticity. *Journal of Econometrics* 31: 307–327.
- Byrne, J. P., Fazio, G., and Fiess, N. 2013. Primary commodity prices: Co-movements, common factors and fundamentals. *Journal of Development Economics* 101: 16–26.
- Chan, K.F., Karuna, S.T., Brooks, R., Gray, S. 2011. Asset market linkages: evidence from financial, commodity and real estate assets. *Journal of Banking & Finance*

- 35: 1415–1426.
- Cochran, S., Mansur, I. and Odusami, B. 2012. Volatility persistence in metal returns: A FIGARCH approach. *Journal of Economics and Business* 64: 287–305.
- Daskalaki, C., & Skiadopoulos, G. 2011. Should investors include commodities in their portfolio after all? New evidence. *Journal of Banking and Finance* 35: 2606–2626.
- Engle, R.F. 1982. Autoregressive conditional heteroscedasticity with estimates of the variance of United Kingdom inflation. *Econometrica* 50: 987–1008.
- Engel, R. F., and Ng, V. K. 1993. Measuring and testing the impact of news on volatility. *The Journal of Finance* 48: 1749–1778.
- Forbes, K.J., Rigobon, R. 2002. No contagion, only interdependence: measuring stock market comovements. *Journal of Finance* 57: 2223–2261.
- Hammoudeh, S., Malik, F., and McAleer, M. 2011. Risk management of precious metals. *Quarterly Review of Economics and Finance* 51: 435–441.
- Hammoudeh, S. and Yuan, Y. 2008. Metal volatility in presence of oil and interest rate shocks. *Energy Economics* 30: 606–620.
- Hammoudeh, S., Yuan, Y., McAleer, M., and Thompson, M. 2010. Precious metals–exchange rate volatility transmissions and hedging strategies. *International Review of Economics and Finance* 19: 633–647.
- Lee, H-Y., Wu, H-C., and Wang, Y-J. 2007. Contagion effect in financial markets after the South-East Asia Tsunami. *Research in International Business and Finance* 21: 281–296.
- Markwat, T., Kole, E., Van Dijk, D. 2009. Contagion as a domino effect in global stock markets. *Journal of Banking & Finance* 33: 1996–2012.
- Nelson, D.B. 1991. Conditional heteroskedasticity in asset returns: a new approach. *Econometrica* 59 (2): 347–370.
- Sari, R., Hammoudeh, S., and Soytas, U. 2010. Dynamics of oil price, precious metal prices, and exchange rate. *Energy Economics* 32: 351–362.

- Soytas, U., Sari, R., Hammoudeh, S., and Hacihasanoglu E. 2009. World oil prices, precious metal prices and macroeconomy in Turkey. *Energy Policy* 37: 5557–5566.
- Toda, H. Y., Yamamoto, T. 1995. Statistical inference in vector autoregressions with possibly integrated processes. *Journal of Econometrics* 66: 225–50.
- Tully, E., and Lucey, B. 2007. A power GARCH examination of the gold market. *Research in International Business and Finance* 21: 316–325.