

Asymmetry of stock market volatility in high frequency data

이지현

KAIST 테크노경영대학원 leinhard@kgsam.kaist.ac.kr

김동석

KAIST 테크노경영대학원 tskim@kgsam.kaist.ac.kr

이회경

KAIST 테크노경영대학원 hklee@kgsam.kaist.ac.kr

Abstract

The purpose of this study is to examine the lead-lag relationship between volatility and returns in high frequency stock market data to see the validity of two hypotheses that explain volatility asymmetry. Specifically, wavelet analysis is applied to decompose the volatility process into permanent and transitory components and then each component is investigated in conjunction with returns. The results from cross-correlation analysis between volatility and returns support the leverage effect hypothesis rather than the volatility feedback hypothesis in all cases.

1. 서론

금융자산의 수익률과 수익률 변동성의 관계에 대한 정확한 이해는 관련 금융상품의 가격결정모형의 설정 근거로서 매우 중요하다. 널리 알려진 특성 중 하나로 수익률과 수익률 변동성 사이의 음의 상관관계를 들 수 있는데 이는 주식, 환율 등의 다양한 금융자산 수익률에 공통적으로 나타난다.

이러한 음의 상관관계를 설명하기 위해 상호작용의 인과 관계의 방향에 따라 부채효과, 변동성 환류효과의 두 가설이 제시되었다. 수익률에 발생한 같은 크기의 충격이 그 부호에 따라 서로 다른 크기의 변동성 변화를 가져오는

현상을 부채효과라 한다. Black(1976)과 Christie(1982)는 부채효과 가설에서 음의 수익률 충격이 회사의 부채비율을 높여 회사의 위험증가로 이어지고 곧 변동성을 증가시킨다고 설명한다. 반면 French, Schwert and Stambaugh(1987)는 변동성 환류 효과로 부채효과와 반대 방향으로 인과관계를 가정한다. 이 가설에서는 변동성에 충격이 발생하면 변동성 지속현상에 의해 충격이 지속되고, 증가한 위험에 대한 보상으로 자산의 기대 수익률이 낮아져 자산 가격이 감소된다고 보았다. 두 가설에서 모두 결과적으로는 수익률에 발생한 충격의 부호에 따라 변동성 변화의 폭이 비대칭성을 보이게 되므로 이러한 현상을 변동성 비대칭 현상이라 부르기도 한다. 이제까지의 연구에서는 어느 한 가설만으로는 실제 자료가 보이는 비대칭성을 모두 설명하지 못하는 것으로 나타났다.

변동성 비대칭성을 설명하는 두 가설의 검증을 위해 여러가지 방법으로 변동성이 정의되었다. Campbell and Hentschel(1992), Glosten, Jagannathan and Runkle(1993) 에서와 같이 GARCH 류의 모형은 관측불가능한 조건부 변동성을 추정하기 용이하고 수익률과 변동성 비대칭성을 직접적으로 모형화할 수 있어 변동성 비대칭성 연구에 많이 쓰여 왔다. 또, Brandt and Kang(2004)은 관측불가능한 조건부 평균, 변동성을 추정하기 위해 Latent VAR모형을 이용한 바 있다. 사전적으로 수익률과 변동성 사이의 관계를 모형화해야 하는 이들 조건부 변동성 모형 외에 역사적 변동성(historical

volatility)도 변동성 비대칭성 연구에 이용되어 왔다.

기존 연구에서는 주로 월별 자료등의 저빈도(low frequency) 자료를 이용하여 분석이 이루어져 왔다. 자산 가치에 대한 평가가 충격 발생 후 즉각적으로 이루어 질 수 있음을 고려할 때 저빈도 자료는 변동성 비대칭 현상을 설명하기에 부족한 정보만을 가지고 있을 수 있다. 실제로 Litvinova(2003)는 이자율 모형 추정시 고빈도(high frequency) 자료를 이용하면 추정치의 분산이 감소하여 보다 정확한 추정이 가능함을 보였다. 따라서 본 연구에서는 보다 많은 정보를 포함할 것으로 예상되는 고빈도 자료를 이용하여 수익률과 수익률변동성의 관계를 고찰하고자 한다.

Poon and Granger(2003)는 금융시계열 변동성의 정형화된 특징으로 두꺼운 꼬리(fat-tail), 변동성 집중(clustering)현상, 비대칭성, 평균회귀, 자산 및 금융시장의 동조현상을 들고 있다. 이 중 두꺼운 꼬리는 음, 양 모두 크기가 큰 충격이 정규분포에 비해 빈번함을, 변동성 집중현상은 충격의 지속 시간이 크다는 것을 의미한다. 따라서 이러한 특성을 고려하면 변동성을 지속성을 갖는 항상 요소(permanent component)와 불빈번 충격을 포함하는 일시적 요소(transitory component)로 나누어 수익률과의 관계를 분석하는 것은 의미있다 하겠다.

본 연구에서는 특정 모형을 도입하지 않고 변동성을 분해하기 위한 방법으로 소파동 분석을 선택하여 앞서 언급한 바와 같이 고빈도 자료의 변동성 비대칭 현상에 대해 알아보하고자 한다.

2. 연구방법

2-1. 추정자료

S&P500지수 1990년 부터 2000년 까지의 5분 간격 자료 3591개 관측치가 이용되었다. 5분당 종가를 로그차분하여 5분 수익률을 계산하고 이를 이용하여 일별 수익률과 일별 변동성을 구한다. 일별 변동성 대용치(proxy) 로는 실현변동성(realized volatility) v_t 를 사용하였고 아래와 같은 식으로 계산된다.

$$v_t = \frac{1}{n_t} \sum_{i=1}^{n_t} r_{t,i}^2 \quad t = 1, \dots, T \quad (1)$$

여기서 n_t 는 t 일의 5분 수익률 자료 개수, $r_{t,i}$ 는

t 일의 i 번째 5분 수익률자료이다. 일별 수익률 r_t 는 다음과 같다.

$$r_t = \sum_{i=1}^{n_t} r_{t,i} \quad t = 1, \dots, T \quad (2)$$

2-2. 소파동분해(wavelet decomposition)

소파동 분석은 보다 개선된 형태의 주파수영역 분석 방법론으로 비교적 최근에 금융시계열 분석에 도입되어 시계열 잡음제거(denoising), 장기기억계수 추정, 경제시계열 선행관계 분석 등에 쓰이고 있다. 기존의 주파수 영역 분석이 주파수 정보만을 제공하여 안정적 시계열에 적용하기 적합한 반면 소파동 분석은 소파동 함수의 이진(translation)과 척도(scale)를 이용하여 시간과 주파수 두 차원의 정보를 함께 제공하므로 불안정 시계열 분석에 유용하다.

소파동 분해를 이용하면 시계열을 근사(approximate) 소파동과 상세(detail) 소파동으로 분해할 수 있는데 각각은 항상성분과 일시적성분으로 해석될 수 있다. 또한 한 시계열에 소파동 분해를 반복적으로 적용 가능하므로 원하는 척도에서의 분석이 가능하다.

본 연구에서는 분석을 위해 주가 시계열의 특성을 고려하여 Daubechies 8 소파동을 이용하였고 소파동 분해를 척도 3에서 적용하여 실현변동성을 장기변동성과 단기변동성으로 분해하였다.

2-3. 교차상관관계(cross-correlation)

부채효과와 변동성환류효과의 차이는 수익률과 수익률 변동성의 음의 상관관계에 어느 방향의 인과 관계가 존재하는지 여부이다. 저빈도 자료를 이용한 대부분의 연구에서는 동기의 자료에 대한 분석이 이루어졌을 뿐 직접적인 인과관계에 대한 논의는 적었다. 본 연구에서는 수익률과 수익률 변동성 사이의 교차상관관계를 통해 두 시계열 간의 인과관계를 분석해 본다.

3. 실증분석결과

3-1. 항상요소-일시적요소 분해

그림-1은 지면상 표시를 쉽게 하기 위해 분석에 이용된 자료의 일부를 이용해 변동성을 소파동 분해한 결과를 나타낸 것이다. (A)는 일별 실현변동성을 나타낸다. (B)는 척도 3에서 소파동

분해된 가장 낮은 주파수 대역의 시계열을 복원시켜 얻은 장기변동성으로 실현변동성에 비해 부드러운 형태를 보인다. (C)는 실현변동성에서 장기변동성을 제외한 부분으로 단기변동성을 의미한다.

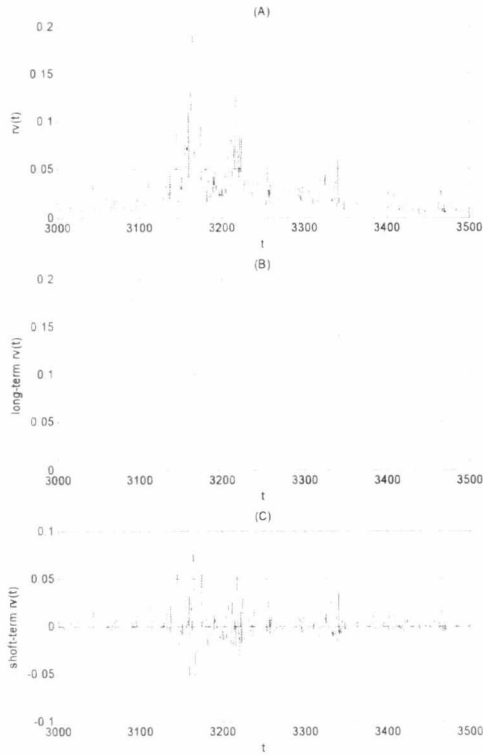


그림-1: 소과동을 이용한 장기,단기 변동성 분해, $t=3000, 3500$ (A) 실현변동성 (B) 장기변동성 (C) 단기변동성

3-2. 교차상관관계

그림-2는 변동성과 수익률의 교차상관계수를 나타낸 것이다. (A)는 일별 수익률과 실현변동성 사이의 관계를 95% 유의수준과 함께 보여준다. 래그가 0 또는 양수일 때 수익률 변동성과 수익률은 유의한 음의 상관관계를 보이고 그 값은 래그가 커짐에 따라 점차 0으로 수렴해 가는 형태이다. 따라서 수익률에 발생한 충격이 현재와 미래의 변동성에 영향을 미치며 그 기간은 약 10일에 이를 수 있다.

(B)는 앞서 그림-1의 (B)에 나타난

장기변동성과 일별 수익률 사이의 교차상관계수를 나타낸다. 역시 래그가 0 이상일 때 음의 상관계수를 보이는데 실현변동성-수익률 관계와 달리 상관계수의 절대값이 래그가 증가함에 따라 매우 느린 속도로 0에 수렴해 가고 있다.

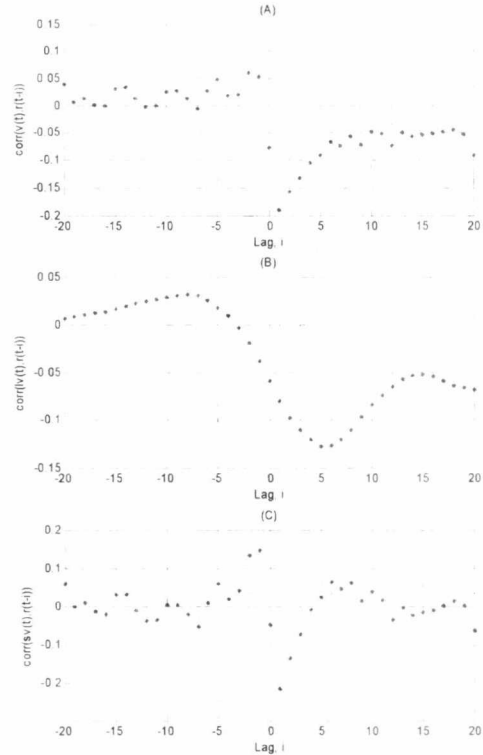


그림-2: (A) 실현변동성과 일별수익률의 교차상관관계 (B) 장기변동성과 일별수익률의 교차상관관계 (C) 단기변동성과 일별수익률의 교차상관관계

래그가 0보다 클 때 유의한 음의 교차상관관계가 일관되게 나타나는 실현변동성-수익률, 장기변동성-수익률 경우로부터 변동성 비대칭의 원인으로 부채효과가 의미있는 설명이 될 수 있음을 알 수 있다.

(C)는 단기변동성과 일별 수익률간의 교차상관계수를 나타낸다. 상관계수는 래그 -2~3에서 유의한 값을 가지고 그 외의 래그에 대해서는 유의하지 않으며 래그가 증가하면서 0에 빠르게 수렴한다. 래그가 0과 3사이인 경우에

교차상관관계 값이 음의 값을 보이는 것은 부채효과라 할 수 있는데, 장기변동성과 수익률의 관계와 달리 단기변동성과 수익률 간에는 매우 짧은 기간동안에만 상관관계가 지속된다. 래그 -2~-1에서 양의 교차상관관계를 보이는 것은 수익률 변동성이 증가(감소)하면 수익률이 증가(감소)하는 방향으로 인과관계가 존재함을 의미하는데, 이는 수익률과 수익률변동성이 음의 상관관계를 보였던 기존 연구에서의 실증분석과 일치하지 않는 점으로 추가적인 설명이 필요한 부분이라 하겠다.

4. 결론

본 논문에서는 주가지수 수익률의 변동성 비대칭 현상을 설명하는 부채효과 기설과 변동성환류효과 가설을 고빈도 자료와 소파동분해를 이용하여 검증해 보았다. S&P500 지수 5분 자료를 이용해 11년 동안의 일별 수익률, 수익률 변동성 자료를 생성하여 분석의 대상으로 삼았다. 교차상관계수를 통한 변동성 비대칭 현상의 인과관계를 살펴본 결과 장, 단기 변동성 모두 수익률과의 관계에서 부채효과를 지지하는 특성을 보여주었다. 반면 어느 경우에도 변동성환류효과는 분석 대상 자료의 변동성 비대칭현상에 대한 설명이 되지 못함을 알 수 있었다.

본 연구에서는 부채효과가 의미하는 수익률과 수익률변동성의 인과관계의 방향에 대한 검증은 이루어졌으나 수익률 충격의 결과가 부채비율을 변화시키고 이후 위험증가와 변동성 변화까지 야기시킨다는 부채효과 자체에 대한 검증까지 다루어진 것은 아니다. 또한 단기변동성과 수익률의 교차상관관계에 있어 래그가 음일 때 유의한 양의 값을 보이는 부분은 본 논문에서 해석되지 못한 부분으로 추후 연구가 이루어져야 할 것이다.

<참고문헌>

Black, F., 1976, "Studies of Stock Price Volatility Changes," *Proceedings of the 1976 meetings of the American Statistical Association, Business and Economic Statistics*

Brandt, Michael W. and Qiang Kang, "On the relationship between the conditional mean and volatility of stock returns: A latent VAR approach," *Journal of Financial*

Economics, 72, 217-257.

Campbell, J.Y. and Ludger Hentschel, 1992, "No news is good news: An asymmetric model of changing volatility in stock returns," *Journal of Financial Economics*, 31, 281-318.

Christie, A.A., 1982, "The Stochastic Behavior of Common Stock Variances - Value, Leverage and Interest Rate Effects," *Journal of Financial Economics*, 3, 145-166.

French, M., W. Schwert and R. Stambaugh, 1987, "Expected Stock Returns and Volatility," *Journal of Financial Economics*, 19, 3-29.

Glosten, L. R., R. Jagannathan, and D.E. Runkle, 1993, "On the Relation Between the Expected value and the Volatility of the Nominal Excess Return on Stocks," *Journal of Finance*, 48, 1779-1801.

Litvinova, J., 2003, "Volatility Asymmetry in High Frequency Data," *Proceedings of the Joint Conference on Information Sciences, RTP, NC*

Poon, S. and C.W.J. Granger, 2003, "Forecasting Volatility in Financial Markets: A Review," *Journal of Economic Literature*, 41, 478-539.

문제점 → campbell, Hentschel GARCH류 모형이 leverage effect를 설명한다는 논문의 오류,

부채효과를 증명했다는 논문의 문제점들 Figlewski and Wang()의 논문

이 밖에도, Mackinlay and Park(2004) 등의 연구가 있다.

Bekaert, Geert and Guojun Wu, 2000, "Asymmetric Volatility and Risk in Equity Markets," The Review of Financial Studies, Vol. 13, No. 1, pp.1-42.

Mackinlay, A. Craig and Jong Won Park, 2004, "The Relationship between Expected Risk Premium and Conditional Permanent and Transitory Volatility," Working Paper

Figlewski, Stephen and Xiaozu Wang, 2000, "Is the "Leverage Effect" a Leverage Effect?," Working paper

Guo, Hui and Robert Whitelaw, 2004, "Uncovering the Risk-Return Relation in the Stock Market," Working Paper, The Federal Reserve Bank

Wu, Guojun, 2001, "The Determinants of Asymmetric Volatility," The Review of Financial Studies, Vol. 14, No. 3, pp.837-859.