

刘鑫. 基于非对称 CARCH 模型的北京气温短期波动规律分析[J]. 气象, 2011, 37(1): 103-106.

基于非对称 CARCH 模型的 北京气温短期波动规律分析^{*}

刘 鑫

中央民族大学, 北京 100081

提 要: 为了研究北京市气温资料的短期波动特征, 使用非对称 CARCH 模型对北京市 1952—2006 年期间的日平均气温、日最低气温和日最高气温进行了建模, 结果表明北京市气温总体上具有上升趋势; 但日最高气温、日平均气温上升幅度有限, 日最低气温上升幅度较大; 日最高气温、日平均气温波动幅度有限, 日最低气温波动幅度较大; 升温会使气温整体的变化幅度加大, 而降温对气温变化的影响更多体现在日最低气温上。

关键词: 非对称 CARCH 模型, 气温, 短期波动

Micro-Aspect Analysis on Beijing's Temperature Change Based on Asymmetrical CARCH Model

LIU Xin

Minzu University of China, Beijing 100081

Abstract: In order to study the microscopic features of Beijing's temperature data, an asymmetrical CARCH model is set up for Beijing's daily average temperature data, daily minimum temperature data and daily maximum temperature data during 1952—2006. The results show that Beijing's temperature has a rising trend overall. However, daily maximum temperature and daily average temperature will rise in a limited range, and daily minimum temperature will rise in a larger extent; the changing ranges of daily maximum temperature and daily average temperature will be in a limited extent, but the changing range of daily minimum temperature will be in a larger scope. Temperature warming makes sense to the rising trend on all scopes, but cooling only makes sense to the daily minimum temperature.

Key words: asymmetrical CARCH model, temperature, micro-aspect analysis

引 言

20 世纪以来全球气温变暖趋势加剧, 这促使国内外学者关注于气温变化问题, 北京市作为中国的首都和政治、经济、文化中心, 其气温变化广受关注。气温资料经地面观测站采集而来, 表征一定时间区间内某地区的温度特征, 本质上是一种时间序列。

传统的气温资料分析方法主要是趋势分析和周期判别, 分别用来判断一个时间区间内的气温变化趋势和寻找气温变化的周期, 常用的方法有线性回归分析、距平^[1-2]、滑动平均^[3-4]、二次平滑、三次样条函数、相关分析法^[5-6]、自回归模型^[7]和 Mann-Kendall 秩次相关法^[8]。最近神经网络^[9]、分形理论^[10-11]、R/S 分析法^[12]、非趋势波动分析^[13]和小波分析法也被国内学者用来进行气温资料的分析。这

* 中央民族大学 211 项目(No. 021211030312)资助
2009 年 9 月 7 日收稿; 2010 年 7 月 28 日收修定稿
作者: 刘鑫, 研究方向: 统计应用与金融数学. Email: liuxin9023@gmail.com

些方法针对的是较大尺度上的变化趋势,其分析尺度可以达到数十年乃至上百年。

作为一种时间序列,气温资料又具有一定的随机性,从短期看主要表现为局部稳定性和易突变性两个特征。局部稳定性是指外部因素影响不明显时,气温在某个值上下波动;易突变性是指受到外部冲击时,气温可能会产生较大幅度的变动。在时间序列上可以用自相关性和异方差性进行度量。本文从计量经济学中引入非对称 CARCH 模型来刻画气温资料的自相关性和异方差性,以北京市 1952—2006 年的日平均气温、日最高气温和日最低气温为研究对象,通过建模来描述北京市气温资料变化的短期波动特征。

1 方法简介

非对称 CARCH 模型是对 ARCH 模型的推广。ARCH 模型 (autoregressive conditional heteroskedasticity model, 自回归条件异方差模型) 最早由 Engle 提出,主要用于刻画时间序列的异方差性^①,经过 30 年的发展,被广泛使用于各种时间序列问题的分析中^[14]。非对称 CARCH 模型起源于对资本市场中的研究,在资本市场中,同等力度的好消息与坏消息对资产价格变动的的影响程度通常是不同的^②,据此 Engle 和 Ng (1993) 提出了非对称的 CARCH 模型。

1.1 原理介绍

设 $\{x_t, t=1, 2, \dots, T\}$ 为一个尺度为 T 的时间序列,则非对称 CARCH 模型^③可以表示为:

$$x_t = \lambda x_{t-1} + \mu_t \quad (1)$$

$$\sigma_t^2 - q_t = \alpha(\mu_{t-1}^2 - q_{t-1}) + \gamma(\mu_{t-1}^2 - q_{t-1})d_{t-1} + \beta(\sigma_{t-1}^2 - q_{t-1}) \quad (2)$$

$$q_t = \omega + \rho(q_{t-1} - \omega) + \phi(\mu_{t-1}^2 - \sigma_{t-1}^2) \quad (3)$$

其中 μ_t 为残差, σ_t 为 μ_t 的标准差,用来表示 t 时刻的短期波动率, q_t 则表示长期波动率,典型的 ρ 接近于 1,此时 q_t 趋向于 ω ,因此 ω 用于描述波动率的长期趋势。如果 $\mu_{t-1} < 0, d_t = 1$; 否则 $d_t = 0, d_t$ 用来表示负面冲击对短期波动率的影响。

方程(1)为自回归模型,用来描述时间序列的自相关特征;方程(2)、(3)用来描述时间序列的异方差特征。非对称效应主要体现在系数 γ 上,因此这种非对称效应在短期波动中效果很大,但在长期波动中效果不大,长期波动主要依靠系数 ρ 进行调节。

1.2 非对称 CARCH 模型应用于气温变化短期波动分析的合理性

在已有的气温时间序列分析文献中,大多关注于长期趋势、周期分析等宏观特征,而对短期波动特征研究不足。随着概率论与计算机的发展,根据已知气象资料分析和预测未来 1 天甚至几天的气象情况,已经成为可能。在经济社会实践活动中,对气象资料的短期预测也具有深刻的社会价值,通过对气温资料短期波动特征的分析有利于全面深刻地理解气温资料的变化规律,同时可以根据利用历史气温资料所建立的模型对未来一段时间内的气温以及其变化范围进行预测,通过与已有的天气预报模型进行对比分析,可以有效地提高天气预报的准确度和精度,从而为经济社会实践活动作出贡献。

气温资料从短期看具有局部稳定性和易突变性两个特征,分别对应于时间序列的自相关性和异方差性。自相关性可以使用方程(1)来描述,异方差性可以用方程(2)、(3)来描述。通过非对称 CARCH 模型中引入虚拟变量,用来描述破坏气温局部稳定性所带来的负面冲击^④。

为了将非对称 CARCH 模型和气象学联系起来,本文列出了非对称 CARCH 模型的不同系数在气象上的意义,具体见表 1。

① 异方差性通常被认为是横截面数据的特点,但 Engle 在分析宏观数据时发现,时间序列中扰动方差的稳定性比假定的要差,并且大的或小的预测误差通常会成群出现,方差在不同的时刻是有差别的,据此 Engle 提出了 ARCH 模型

② 一般坏消息使资产价格下跌的速度大于好消息使资产价格上升的速度

③ 详细内容可以参考《计量经济学分析方法与建模: EViews 应用及实例》(高铁梅, 2006)、《协整理论与波动模型: 金融时间序列分析及应用》(樊智, 2004)、《计量经济学》(孙敬水, 2004)等

④ 主要指导致气温下降的原因,如降雨、降雪、冷空气等外部因素

表 1 非对称 CARCH 模型系数的气象学意义
Table 1 Microscopic significance of asymmetrical CARCH model coefficients' to temperature changes

| 系数 | 意义 |
|-----------|--------------------------|
| λ | 气温的短期相依性 |
| α | 正面冲击对气温短期波动产生的非对称效应 |
| β | 气温短期波动的相依性 |
| γ | 负面冲击对气温短期波动产生的非对称效应 |
| ρ | 气温长期波动的相依性 |
| ϕ | 调节因子,用于将气温的短期波动率拉回到长期波动率 |

注:(1) λ, β, ρ 分别用来表示气温、气温短期波动、气温长期波动的相依性,这种相依性用来刻画对应变量的短期变化特征;(2) $\alpha, \alpha + \gamma$ 分别用来表示正、负面冲击对气温短期变动的影响,在气象中可以理解为造成升温、降温的外部因素对气温变化幅度的影响;(3) ϕ 是调节因子,用于将气温的短期波动率拉回到长期波动率,一般为正值。当 q_{t-1} 远小于 ω 时,受到方程(2)的约束,有 μ_{t-1} 远小于 σ_{t-1}^2 ,从而在方程(3)的约束下 q_t 会向 ω 逼近;反之亦然。

2 分析与结果

2.1 非对称 CARCH 模型拟合结果

本文分别对 1951—2006 年的北京市日平均气温、日最低气温、日最高气温时间序列^⑤建立了非对称 CARCH 模型,模型中假设残差分布服从广义误差分布(GED),使用 EViews 软件进行拟合^⑥,得出方程(1)、(2)、(3)中系数的拟合值(如表 2)。

表 2 北京市气温资料非对称 CARCH 模型拟合结果表
Table 2 Fitting results of asymmetrical CARCH model to Beijing's temperature data

| | 日平均气温 | 日最低气温 | 日最高气温 |
|-----------|-------------------|------------------|------------------|
| λ | 0.9927(0.0000)** | 0.9905(0.0000)** | 0.9861(0.0000)** |
| α | 0.0654(0.0000)** | 0.0489(0.0000)** | 0.1176(0.0000)** |
| β | 0.3928(0.0126)* | 0.2219(0.0239)* | 0.2480(0.0112)* |
| γ | -0.0576(0.0000)** | 0.0537(0.0032)** | -0.1178(0.0000) |
| ω | 4.7206(0.0000)** | 9.7909(0.0000)** | 7.9269(0.0000)** |
| ρ | 0.9772(0.0000)** | 0.9706(0.0000)** | 0.9769(0.0000)** |
| ϕ | 0.0328(0.0000)** | 0.0289(0.0000)** | 0.0498(0.0000)** |
| R^2 | 0.9269 | 0.9245 | 0.9375 |

注:(1) 括号内是该值对应 t 统计量的 P 值;(2) * 表示通过 0.01 的显著性水平检验, * 表示通过 0.05 显著性水平检验;(3) R^2 表示模型的拟合优度,取值范围为 $[0, 1]$,越接近于 1 表示拟合程度越好

表 2 中 3 个回归方程拟合优度都大于 0.92,表明这 3 个回归方程可以用来归纳和概括北京市气温资料的变化规律;表 2 中的拟合系数都不为 0,表明北京市气温资料从短期上看具有局部稳定性和易突变性两个特征,而 γ 的不为 0 表明北京市气温资料具有显著的非对称效应。为了进一步验证北京市气

温变化的短期波动规律,需要对拟合残差的自相关性和异方差性进行检验。

2.2 非对称 CARCH 模型的检验

2.2.1 自相关性检验

非对称 CARCH 模型要求残差不能具有自相关性,因此需要对本文中建立的 3 个非对称 CARCH 方程进行自相关性检验,一般可以使用 ADF 检验(Augmented Dickey-Fuller Test)来进行分析,结果如表 3 所示。结果表明,ADF 检验对应的 t 统计量都显著,因此本文中所建立的 3 个方程也通过了相关性检验,也即拟合模型成功地刻画了北京市气温变化的局部稳定性。

表 3 北京市气温资料非对称 CARCH 模型拟合残差的 ADF 检验

Table 3 Fitting residuals' ADF test of asymmetrical CARCH model to Beijing's temperature data

| | t 统计量 |
|-------|--------------------|
| 日平均气温 | -11.1560(0.0000)** |
| 日最低气温 | -12.5010(0.0000)** |
| 日最高气温 | -11.2686(0.0000)** |

注:(1) 括号内是该值对应 t 统计量的 P 值。(2) * 表示通过 0.01 显著性水平检验

2.2.2 异方差性检验

对时间序列进行 CARCH 建模,需要确保残差中的异方差性被充分提取,这就需要检验残差中是否还存在异方差因素,一般可以使用 ARCH LM 检验,本文中所建立的 3 个非对称 CARCH 模型的 ARCH LM 检验结果如表 4 所示。结果表明本文建立的 3 个非对称 CARCH 模型都通过了 ARCH LM 检验,这说明气温时间序列中的异方差部分得到了有效的刻画。

表 4 北京市气温资料非对称 CARCH 模型拟合残差的 ARCH LM 检验

Table 4 Fitting residuals' ARCH LM test of asymmetrical CARCH model to Beijing's temperature data

| | F 统计量 |
|-------|----------------|
| 日平均气温 | 1.1686(0.2797) |
| 日最低气温 | 0.0031(0.9552) |
| 日最高气温 | 0.7386(0.3801) |

注: F 统计量是对所有残差平方的滞后的联合显著性所做的一个省略变量检验,括号内为对应的 P 值

⑤ 以日平均气温为例,从 1952 年 1 月 1 日起至 2006 年 12 月 31 日依此排列组成时间序列,样本量为 20454,日最低气温、日最高气温类似。数据来自北京市统计局

⑥ 手工计算时可以将数据带入非对称 CARCH 模型中,使用最大似然函数法拟合系数即可,得出的结果是类似的

2.3 北京市气温变化的短期波动分析

本文所建立的 3 个方程通过了异方差性检验和自相关性检验,充分提取了气温资料中的异方差成分和自相关性成分,因此可以用来对北京市气温变化的局部稳定性和易突变性特征进行分析。

2.3.1 北京市气温的长期波动规律

在非对称 CARCH 模型中, ω 是 q_t 的极限,反映了气温资料的长期波动率,本文中日均气温、日最低气温、日最高气温对应的系数分别为 4.7206、9.7909、7.9269,这表明从长期看,北京市气温的波动幅度上按日最低气温、日最高气温、日均气温的次序递减。

ϕ 是一种调节因子,用来将短期波动率拉回到长期波动率(参考表 1 注),日均气温、日最低气温、日最高气温的调节因子分别为 0.0328、0.0289、0.0498,其大小顺序与 ω 具有相容性^⑦。这表明从长期看来,北京市的长期气温波动率最大,且缺乏有效的短期调节机制,因此长期波动率具有扩大的趋势;而最高气温波动率的短期调节机制较强,因此长期波动率的稳定性较好,这表明北京市对高温的调节能力较强。

2.3.2 北京市气温的短期波动规律

非对称 CARCH 模型中, λ 用来表征气温资料的短期相依性,日均气温、日最低气温、日最高气温对应的系数分别为 0.9927、0.9905、0.9861,这表明北京市气温资料具有显著的短期相关性,这符合气象学的基本理论。

β 用来表示气温资料短期波动的相依性,日均气温、日最低气温、日最高气温对应的系数分别为 0.3928、0.2219、0.2480,这表明北京市气温资料短期波动范围按日均气温、日最高气温、日最低气温的次序递减。

$(\alpha, \alpha + \gamma)$ 分别用来描述正、负面冲击对气温短期波动幅度的影响,日均气温、日最低气温、日最高气温对应的系数分别为 (0.0654、0.0078)、(0.0489、0.1026)、(0.1176、-0.0002),这表明正面冲击会使得气温变化幅度加大,而负面冲击对气温变化幅度的影响却仅在日最低气温中有所体现;换言之,升温或降温对气温变化幅度的影响具有显著差异,升温会使气温整体的变化幅度较大,而降温对气温变化的影响更多体现在最低气温上。

3 主要结论

为了研究北京市气温资料的短期波动规律,本文使用非对称 CARCH 模型对北京市 1951—2006 年日均气温、日最低气温、日最高气温进行了建模,结果表明:

(1) 北京市气温总体上具有上升趋势;但日最高气温、日均气温上升幅度有限,日最低气温上升幅度较大

(2) 日最高气温、日均气温波动幅度有限,日最低气温波动幅度较大。

(3) 升温会使气温整体的变化幅度较大,而降温对气温变化的影响更多体现在最低气温上。

参考文献

- [1] 侯伟芬,王谦谦. 江南地区近 50 年地面气温的变化特征[J]. 高原气象,2004,23(3):400-406.
- [2] 司鹏,李庆祥,李伟. 城市化进程对中国东北部气温增暖的贡献检测[J]. 气象,2010,36(2):13-21.
- [3] 张国庆,李鹏飞,黄立等. 全球未来 50 年平均气温的时间序列分析与预测[J]. 甘肃科技,2008,(24)17:72-74.
- [4] 易雪,王建林,宋迎波. 气候适宜指数在早稻产量动态预报上的应用[J]. 气象,2010,36(6):85-89.
- [5] 赵玉洁,常诚,柏才音,等. 漠河极端气温气候特征及其变化[J]. 气象,2009,35(3):94-98.
- [6] 谢庄,李慧. 北京地区温度诊断分析[J]. 大气科学,1994,18(suppl.):820-825.
- [7] 叶春华,吕建周,林之光. 我国新极端最高气温的考察研究[J]. 气象,2008,34(11):3-6.
- [8] 毛凤莲. 北京天津等地气温降水量历史资料诊断[J]. 水科学进展,1996,7(1):37-41.
- [9] 林希,张政. 基于 Elman 神经网络的气温时间序列预测[J]. 科技资讯导报,2007,25:4-5.
- [10] 徐娜,商朋见,胡广生. 气温变化时间序列的复杂性分析[J]. 北京交通大学学报,2008,32(3):98-101.
- [11] 严绍谨,彭永清,张运刚. 一维气温时间序列的多重分形研究[J]. 热带气象学报,1996,12(3):207-211.
- [12] 赵晶,杨淑华,王乃昂. 利用 R/S 方法分析兰州城市化气候效应[J]. 气象,2001,27(2):7-15.
- [13] 江田汉. 我国近百年气温的非趋势波动分析[J]. 气象科学,2004,24(6):199-204.
- [14] 高铁梅. 计量经济学分析方法与建模:EVIEWS 应用及实例[M]. 北京:清华大学出版社,2006:184-185.

^⑦ 即气温波动范围的大小与气温调节能力的大小具有相反的关系,调节能力越大,则气温将在短期内被拉回到平均水平,因此气温波动范围较小;反之亦然。