

# 日本の主要都市の温暖化と名古屋の気候の変化 に関する統計的分析

2008MI038 日比野真之

指導教員：木村美善

## 1 はじめに

近年、地球温暖化が話題になっており、名古屋のみならず、全国的に高温の時期が増えてきているような気がする。現に、2010年夏は記録的猛暑であった。今後、平均気温が上がると、このようなことが増えてくると考えることができる。本研究の目的は、実際に、どのように温暖化が進んできたのかを分析し、さらに今後、どのように温暖化していくか、将来を予測することである。

## 2 多重比較法

### 2.1 多重比較法の対象データ

全国の主要都市に多重比較法を行う。対象となった地域と都市は、気象庁が定めた各地域の代表 11 都市である。用いた気温データは [5] にある、これらの都市の、年平均気温である。分析は、1961 年からの 50 年間で 10 年ごとに 5 群に分けて行った。以下の節で、[2], [3] で手に入る統計ソフトを利用しながら、具体的に分析する。

### 2.2 正規性の検定

得られたデータが、正規分布に従っているか否かを調べる。結果は、名古屋のみが正規分布に従っているとなった。他の都市は、「小さな異常値をもつ混合分布」となった。また、すべての都市で、多重比較法の一様性の帰無仮説は棄却された。以降、名古屋は正規母集団での多重比較法、他都市はノンパラメトリック法での多重比較法を行う。

### 2.3 テューキー・クレマー型多重比較法

結果は、表 1 のようになった。

表 1 テューキー・クレマー型多重比較法の結果

棄却されたパターン	都市
(1,4),(1,5),(2,4),(2,5),(3,5)	名古屋, 高松 鹿児島, 那覇
(1,4),(1,5),(2,5),(3,5)	大阪, 福岡
(1,4),(1,5),(2,4),(2,5)	札幌, 広島
(1,4),(1,5),(2,5)	東京, 新潟
(1,5)	仙台

この表において、 $(i, j)$  は第  $i$  群と第  $j$  群が棄却されたことを表す。上表は、上の行ほど温暖化が急であり、下の行ほど温暖化が緩やかになるように、棄却されたパターンを並べたものである。しかし、分析でより重要な 95% 信頼区間を見ると、地域による差は微々たるものであることが分かった。このため、上表は棄却したパターンを表したに過ぎず、温暖化の速さは都市によって違うことが

分かった。特徴的であったのは、高松、鹿児島温暖化の速さと、仙台の緩やかさであった。

### 2.4 ダネット型多重比較法

第 1 群を対照群とした結果は、鹿児島を除くすべての都市で、第 4 群、第 5 群との間に違いが見られた。鹿児島では、第 3 群でも違いが見られた。

先と同様に 95% 信頼区間を見ると、やはり仙台の温暖化の緩やかさが顕著に表れている。また、広島、高松、鹿児島は、他の都市より温暖化が急激に進んでいることが分かった。第 1 群と第 4 群、第 1 群と第 5 群の信頼区間だけを見れば、鹿児島も他都市と大した差はないものの、第 1 群と第 3 群でわずかながら他の都市をリードしている。このことから、鹿児島は他都市より早く温暖化したことが分かる。

具体的な数値としては、仙台と鹿児島を除いて考えると、最大に見積もって 1.5 度以上気温が上昇していた。中には、名古屋や高松といった、2 度近く上昇している都市もあった。仙台は 1 度程度で他都市より緩やかな傾向が出ている一方、鹿児島は最大で 2.2 度上昇と、温暖化が急であることがわかる。

### 2.5 観測場所移転等の影響

これまでの分析は、観測場所移転等がなかったとしての分析である。しかし、西日本のいくつかの都市 (大阪、広島、鹿児島) では、[5] で「観測場所の移転、観測方法の変更、測器の変更」があったと書かれている。このことによる影響を調べてみる。各都市に対して、観測場所移転等の前後で違いが見られたか、ここまで行ってきた分析をしてみた。即ち、移転前を第 1 群、移転後を第 2 群として、多重比較法を行い、同時信頼区間を見るということである。結果、広島、鹿児島では 1 度以上の変化が見られ、大阪でも最大に見積もって 1 度の変化があるとされた。よって、観測場所移転等の影響を受けたということが言える。

## 3 時系列分析

### 3.1 データの分析と単位根検定

この節からは、名古屋の気候のみを予測してみる。データは、[5] にある 1961 年 1 月 ~ 2010 年 12 月までの月平均値を利用した。以下で、[4] に沿って分析を行う。まずは、時系列分析の基本であるグラフの観察から始める。月平均気温と年平均気温の重ねがきグラフを図 1 に示す。

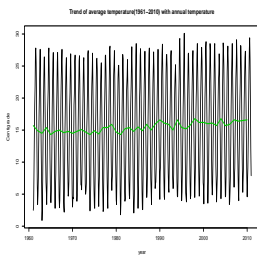


図 1 平均気温の推移

単位根検定を行うと、単位根はないが、確定的トレンドがあるという結果であった。トレンドは、 $x$  を 1960 年 12 月からの経過月数、 $y$  を平均気温と定義して、

$$y = 13.256 + 0.347x^{\frac{1}{3}}$$

という式を仮定した。ただし、このトレンドは最初の数年間で急激に温暖化するという問題がある。[4] では、トレンドの残差系列が、ARMA モデルで表されると述べている。月平均気温にトレンド線を重ねたグラフを、図 2 に示す。

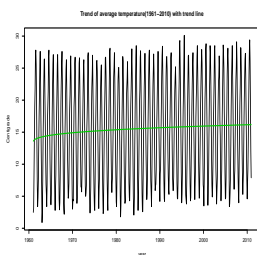


図 2 トレンド線と月平均気温

### 3.2 ARMA モデルの適用

[4] では、種々の検定に合格し、AIC の最も小さいものが最良モデルであるとされている。次数を 1~4 として検定すると、最良モデルは ARIMA(1,0,4) であることが分かった。しかし、MA 過程と季節性 AR 過程の  $t$  値が有意でない。[1] では、MA 過程は次数の高い AR 過程の効率の良い近似となり得ると述べている。ゆえに、特に遠い未来の予測精度が悪いことが分かる。ちなみに、AIC は 1712.42 である。

### 3.3 ARMA モデルによる予測

実際に、20 年先までを予測してみよう。結果を図 3 に示す。先のトレンド線の延長も重ねて示した。

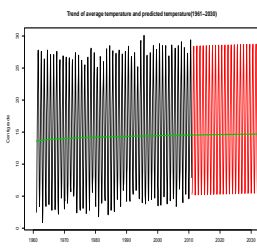


図 3 予測値入り気温グラフ

グラフでは分かりづらいが、予測値を見る限りでは、温

暖化が進んでいく様子が分かる。予測値も概ね現実味があるものの、2011 年~2012 年のみ気温が下がり、以降温暖化するという問題点もある。これは、先に仮定したトレンドがまずかったからであると考えられる。

## 4 考察

まず、多重比較法では、正規分布でなかった分布が「小さな異常値をもつ混合分布」であるとされていた。つまり、低温が異常視されたということである。これは、いかに高温の年が多くなってきているかということを示している。温暖化は、全体的に平成に入ってから顕著なものとなった。そのペースは概ね、西、南ほど急速に進んでおり、東、北ほど緩やかに進んでいることが分かった。その中でも、鹿児島が他都市に先駆けて温暖化したのに対し、仙台は緩やかに温暖化してきている。しかし、いくつか観測場所の移転等があった気象台もあった。それらの都市は、この分析とは結果が異なる可能性が高い。

時系列分析は、近未来の予測しかできなかったのが残念であるが、緩やかに温暖化していく様子が分かるモデルを作ることにはできた。しかし、これはあくまでも現在のペースで温暖化した場合のモデルである。二酸化炭素の排出量などが変われば、実際の結果は当然異なってくる。それでも、今年の 11 月までの動きもある程度当てることができている。しかし、やや高温に予測しすぎる傾向があるようで、高温の月ほど予測の 95%信頼区間の中央に近かった。一方、顕著な低温であった 1 月は低温側に外してしまった。

## 5 おわりに

多重比較法では、いつもより調べるデータの量を多くしてみても楽に行うことができた。また、全国規模で温暖化のペースの違いを把握することができた。今後は、ノンパラメトリック法の学習をしていきたい。時系列分析は、MA 過程が可逆にできなかったものの、将来の予測ができて良かったと思っている。時系列分析は難しく、学部レベルですべて理解することはできなかった。今後は、高度な統計や数学を学び、それらを使って分析できるよう、時系列理論をもっと勉強したい。

## 参考文献

- [1] 宮野尚哉: 時系列解析入門 線形システムから非線形システムへ, サイエンス社, 2002.
- [2] 白石高章: Asoft, <http://www.seto.nanzan-u.ac.jp/~marble/book/asoft.html>.
- [3] 白石高章: プログラムソフト, <http://www.seto.nanzan-u.ac.jp/~marble/book/softprogram.html>.
- [4] 田中孝文: R による時系列分析入門, シーエーピー出版, 2008.
- [5] 気象庁: 過去の気象データ検索, <http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>.