

# Global Warming 2014

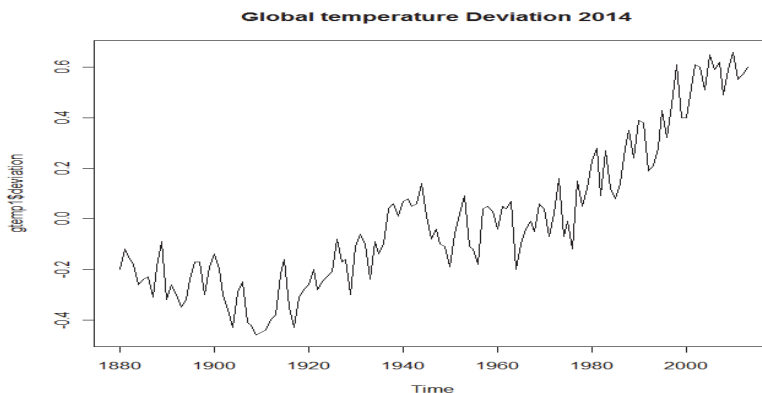
小 村 賢 二

要約;NASA GISS(Global Warming)データについて komura[4]は短期予測値を求めた。今回 NASA の GISS Surface Temperature について更新された Global Surface Temperature に基づいて予測値を計算し直した。komura[4]が求めた予測値とその後の実現値がどうであったかと気温の変化がどうなっているかを調べる。さらに時系列予測のモデルに変更が必要であるかを吟味することである。時系列データはトレンドを含む非定常時系列であるから時系列の階差をとった非定常時系列モデルの ARIMA モデルを適用する。今回の分析結果は時系列の傾向は今後も増大していくのが確認できる。予測に用いたソフトは Global Standard である R-3.1.0 である。

キーワード; Global Warming, R-3.1.0, ARIMA(3, 1, 2), ARIMA(12, 1, 1), ARIMA(0, 1, 2), auto.arima, 線形トレンド, State Spaceモデル, ETS, 予測値, AIC, BIC, 予測の精度

## § - 1 Global temperature 時系列データのプロットについて

時系列データは 1880-2013 年である。プロットしたグラフ表示は以下である。



(gtemp1\$deviation)

Time Series:

Start = 1880

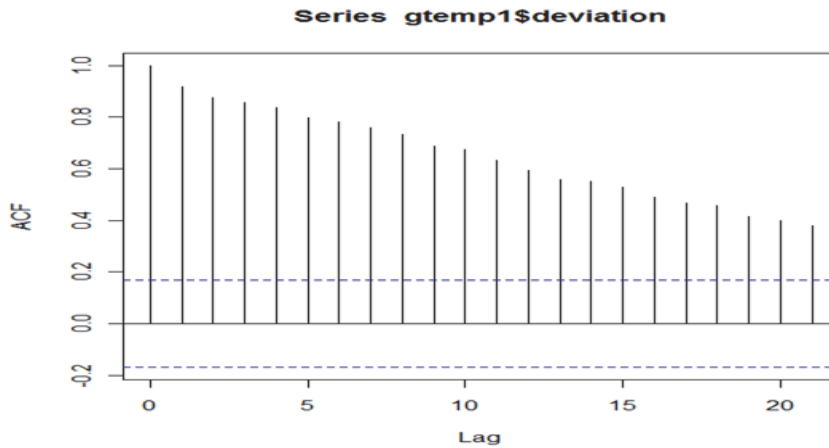
End = 2013

Frequency = 1

[1]	-0.20	-0.12	-0.15	-0.18	-0.26	-0.24	-0.23	-0.31	-0.19	-0.09	-0.32	-0.26
[13]	-0.30	-0.35	-0.32	-0.24	-0.17	-0.17	-0.30	-0.19	-0.14	-0.20	-0.30	-0.36
[25]	-0.43	-0.29	-0.25	-0.41	-0.42	-0.46	-0.45	-0.44	-0.40	-0.38	-0.22	-0.16
[37]	-0.35	-0.43	-0.31	-0.28	-0.26	-0.20	-0.28	-0.25	-0.23	-0.21	-0.08	-0.17
[49]	-0.16	-0.30	-0.11	-0.06	-0.10	-0.24	-0.09	-0.14	-0.10	0.04	0.06	0.01
[61]	0.07	0.08	0.05	0.06	0.14	0.01	-0.08	-0.04	-0.10	-0.11	-0.19	-0.06
[73]	0.02	0.09	-0.11	-0.12	-0.18	0.04	0.05	0.03	-0.04	0.05	0.04	0.07
[85]	-0.20	-0.10	-0.04	-0.01	-0.05	0.06	0.04	-0.07	0.02	0.16	-0.07	-0.01
[97]	-0.12	0.15	0.05	0.12	0.23	0.28	0.09	0.27	0.12	0.08	0.14	0.28
[109]	0.35	0.24	0.39	0.38	0.19	0.21	0.28	0.43	0.32	0.45	0.61	0.40
[121]	0.40	0.52	0.61	0.60	0.51	0.65	0.59	0.62	0.49	0.59	0.66	0.55
[133]	0.57	0.60										

偏差は 1951 年－1980 年の平均が基準である。

自己共分散(acf)関数のグラフは以下である。



## §—2 global warming データの予測について

Global Surface temperature の時系列データについて、R-3.1.0 を使い予測値を求める。分析結果は auto.arima によってモデル ARIMA(3, 1, 2) with drift である。確率過程 ARIMA(3,1,2),

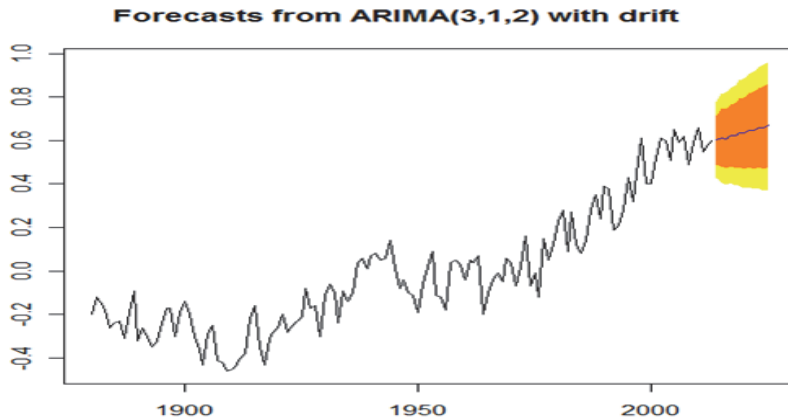
ARIMA(12, 1, 0)の予測値と予測の精度と適合度を比較検討する。

先ず自己回帰集積移動平均モデルから検討する。ARIMA(3, 1, 2)は以下である。

$$\phi(B)\nabla Z_t = (1 - \theta_1 B - \theta_2 B^2) a_t$$

ここで  $\phi(B) = (1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2 - \phi_3 B^3)$  ,  $\nabla = (1 - B)$  ,  $BZ_t = Z_{t-1}$  ,  $a_t$  はホワイトノイズである。

以下は ARIMA(3, 1, 2) 過程の予測値プロットである。



モデルの推定と予測の精度の要約は以下である。

Forecast method: ARIMA(3, 1, 2) with drift

Model Information:

Series: gtemp1\$deviation

ARIMA(3,1,2) with drift

モデルの推定値と AIC,BIC の基準値

ar1	ar2	ar3	ma1	ma2	drift
-0.7338	-0.0600	-0.2560	0.3178	-0.4956	0.0059
s.e. 0.1701	0.2267	0.1069	0.1691	0.1611	0.0031

sigma^2 estimated as 0.007911: log likelihood = 132.76

AIC = -251.52    AICc = -250.62    BIC = -231.29

予測値の精度は

In-sample error measures:

ME	RMSE	MAE	MPE	MAPE	MASE
-9.209192e-05	8.861350e-02	7.207095e-02	2.089157e+01	6.517994e+01	8.729906e-01

である。

予測値と 80%と 95%の予測信頼区間；

	Point Forecast	Lo 80	Hi 80	Lo 95	Hi 95
2014	0.6018896	0.4879007	0.7158785	0.4275586	0.7762206
2015	0.6128070	0.4808016	0.7448124	0.4109222	0.8146918
2016	0.6091712	0.4717951	0.7465472	0.3990726	0.8192697
2017	0.6228695	0.4816705	0.7640685	0.4069242	0.8388148
2018	0.6224102	0.4724693	0.7723511	0.3930953	0.8517250
2019	0.6350257	0.4784755	0.7915758	0.3956029	0.8744484
2020	0.6344584	0.4703245	0.7985923	0.3834373	0.8854795
2021	0.6464047	0.4770024	0.8158071	0.3873262	0.9054833
2022	0.6466122	0.4704090	0.8228154	0.3771326	0.9160917
2023	0.6580578	0.4766821	0.8394336	0.3806675	0.9354482
2024	0.6587575	0.4710031	0.8465119	0.3716120	0.9459031
2025	0.6696737	0.4770305	0.8623169	0.3750513	0.9642960

ここで予測値の値は上昇していく。2014年の値は2013年と粗同じ水準である。

予測値は条件付き期待値  $\hat{Y}_t(l) = E[\hat{Y}_{t+l}] = E[\hat{Y}_{t+l} | \hat{Y}_t, \hat{Y}_{t-1}, \hat{Y}_{t-2}, \dots]$ 。予測値の計算は G

E.P.Box,G,Genkins& C Reinsel [2]に従う。

次に集積移動平均過程の ARIMA(0,1, 2)モデルを検討する。計算と推定と予測の精度である。

```
summary(forecast(fit,h=12))
```

```
Forecast method: ARIMA(0, 1, 2)
```

```
Model Information:
```

```
Series: gtemp1$deviation
```

```
ARIMA(0,1,2)
```

```
arima(x = gtemp1$deviation, order = c(0, 1, 2))
```

```
モデルの推定値:
```

```
      ma1      ma2
-0.4190 -0.1675
s.e.   0.0834  0.0756
```

```
sigma^2 estimated as 0.008552: log likelihood = 127.75
```

以下は赤池情報量基準とバイズ情報量基準と予測の精度である。

```
AIC = -249.5   AICc = -249.31   BIC = -240.83
```

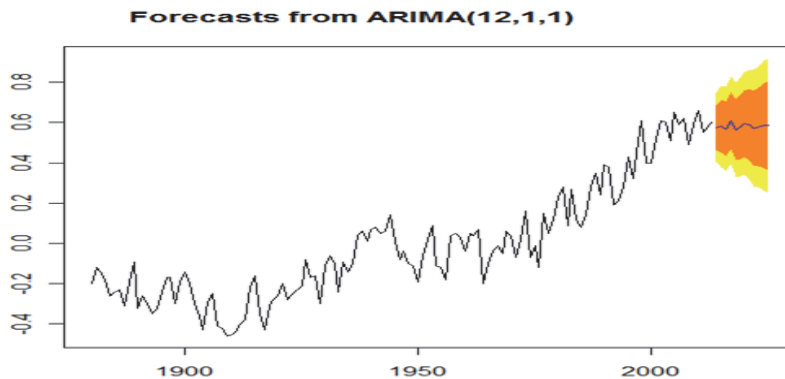
```
In-sample error measures:
```

ME	RMSE	MAE	MPE	MAPE	MASE
0.01398420	0.09213329	0.07637884 16	.07462089 7	0.47477325	0.92517170

予測値と 80%と 95%の予測信頼区間；

	Point Forecast	Lo 80	Hi 80	Lo 95	Hi 95
2014	0.5906145	0.4720979	0.7091311	0.4093590	0.7718700
2015	0.5871667	0.4500993	0.7242340	0.3775402	0.7967931
2016	0.5871667	0.4416031	0.7327302	0.3645464	0.8097869
2017	0.5871667	0.4335762	0.7407571	0.3522703	0.8220630
2018	0.5871667	0.4259484	0.7483849	0.3406047	0.8337287
2019	0.5871667	0.4186656	0.7556677	0.3294666	0.8448668
2020	0.5871667	0.4116848	0.7626485	0.3187903	0.8555430
2021	0.5871667	0.4049712	0.7693621	0.3085228	0.8658105
2022	0.5871667	0.3984964	0.7758369	0.2986205	0.8757129
2023	0.5871667	0.3922366	0.7820967	0.2890468	0.8852865
2024	0.5871667	0.3861716	0.7881617	0.2797712	0.8945621
2025	0.5871667	0.3802843	0.7940490	0.2707674	0.9035659

以下のグラフは ARIMA(12,1,1)過程のモデルによる予測値のプロットである。



次に ARIMA (12, 1, 1) モデル；自己回帰集積移動平均過程の計算と予測の精度を求める。

```
summary(forecast(fit, h=12))
```

```
Forecast method: ARIMA(12, 1, 1)
```

```
Model Information:
```

```
Series: gtemp1$deviation
```

```
ARIMA(12,1,1)
```

```
arima(x = gtemp1$deviation, order = c(12, 1, 1))
```

モデルの係数の推定値:

ar1	ar2	ar3	ar4	ar5	ar6	ar7	ar8	ar9
0.8247	-0.5632	-0.4507	-0.1945	-0.1492	-0.0817	0.0538	0.1908	0.0833
0.2284	0.1825	0.1081	0.4375					
s.e.	0.5067	0.2184	0.2243	0.1876	0.1274	0.1383	0.1260	0.1270
0.1454	0.1187	0.1453	0.0877	0.5046				

sigma^2 estimated as 0.007554: log likelihood = 135.56  
 AIC = -243.12 AICc = -239.56 BIC = -202.66

当てはまりの良さの基準でモデルの中では1番小さい。Akaike[1]赤池情報量基準。

In-sample error measures:

ME	RMSE	MAE	MPE	MAPE	MASE
0.009726984	0.086588951	0.071204076 2	1.126539149	4.165994551	0.862490169

Forecasts,(予測値と0.80,0.95%の予測信頼区間)

Point	Lo 80	Hi 80	Lo 95	Hi 95
2014	0.5755177	0.4641331	0.6869023	0.4051697 0.7458658
2015	0.5807973	0.4501660	0.7114286	0.3810140 0.7805807
2016	0.5686848	0.4317438	0.7056258	0.3592517 0.7781180
2017	0.6099679	0.4679642	0.7519716	0.3927920 0.8271439
2018	0.5640755	0.4123093	0.7158417	0.3319692 0.7961819
2019	0.5725888	0.4138971	0.7312806	0.3298907 0.8152869
2020	0.5928257	0.4271782	0.7584732	0.3394896 0.8461617
2021	0.5899025	0.4145065	0.7652985	0.3216574 0.8581475
2022	0.5710109	0.3819934	0.7600283	0.2819337 0.8600880
2023	0.5778620	0.3816746	0.7740494	0.2778193 0.8779048
2024	0.5851035	0.3762731	0.7939339	0.2657249 0.9044821
2025	0.5850267	0.3657000	0.8043534	0.2495955 0.9204580

時系列の予測値が過去の時系列のウェイト平均として表現されて,予測の精度の基準AIC,BIC の値は小さいモデルが選択される。従いARIMA(12, 1, 1)が選択される。

最後に線型モデルによる予測値である。トレンドモデルは以下の解析結果である。

$$y_t = -1.4425 + 0.00647 T$$

```
decom6(gtemp1$deviation,se1=1,fore1=12)
(Intercept)          t1
-1.442564246  0.006474694
```

予測値と 0.95 の予測信頼区間は以下である。

	pred	lower	upper
2014	0.4315195	0.1440173	0.7190217
2015	0.4379942	0.1503973	0.7255910
2016	0.4444689	0.1567760	0.7321617
2017	0.4509436	0.1631534	0.7387337
2018	0.4574182	0.1695294	0.7453071
2019	0.4638929	0.1759040	0.7518819
2020	0.4703676	0.1822773	0.7584580
2021	0.4768423	0.1886492	0.7650355
2022	0.4833170	0.1950197	0.7716143
2023	0.4897917	0.2013890	0.7781945
2024	0.4962664	0.2077568	0.7847760
2025	0.5027411	0.2141234	0.7913589

結論 ;

Global Warming が多く議論されているなかで、NASA によっていろいろな予測が行われている。その予測方法は偏差の時系列の移動平均法による予測が主である。ここで求めているのは短期時系列予測の点予測である。予測の分析の結果は ARIMA(12,1,1)過程が予測の精度を基準とすれば BIC (AIC も含めて) の値が最も小さく選択される。auto.arima によって選択された ARIMA(0,1,2) と ARIMA(3,1,2)を比較すれば予測値は ARIMA(3,1,2)の方が ARIMA(0,1,2)より少し高めに評価される。

参考文献 ;

- [1] Akaike, H., [1969], Fitting autoregressive models for prediction. *Ann. Inst. Sta. Math.*, 21.
- [2] Box, G. E. P. and G. M. Jenkins and Gregory C. Reinsel, [2008], *Time Series Analysis, Forecasting and Control*, Fourth Edition, Wiley.
- [3] Brockwell, P. J. and R. A. Davis, [1991], *Time Series. Theory and Methods*, 2nd Ed. Wiley.
- [4] Komura, K., [2012], Rによる Global Warming, 愛知学院大学教養部紀要、第 60 巻第 2 号
- [5] Robert H. Shumway and David S. Stoffer, [2011], *Time Series Analysis and Its Applications*. Springer.
- [6] NASA GISS Data, gistemp: (<http://data.giss.nasa.gov/>)
- [7] CRAN . R-3.1.0.