

II-345

トレンドの折れ曲がりを考慮したモデルによる東海地方の温暖化現象の検証

岐阜工業高等専門学校環境都市工学科 正員 鈴木正人*
 信州大学工学部社会開発工学科 正員 寒川典昭**
 和歌山工業高等専門学校環境都市工学科 正員 小池一臣***

1. はじめに

温室効果ガスの増加を主原因とする地球規模の温暖化が問題視されている。例えばIPCC（気候変動に関する政府間パネル）によると全球の平均で過去40年に0.2～0.3度の気温上昇であることが報告されている¹⁾。一方、温暖化問題をミクロな視点で見るとヒートアイランド現象の存在が確認されている。ヒートアイランド現象については、社会状況、開発状況が各都市で異なることにより温暖化の傾向が都市により異なることが予想される。著者らは、岐阜市における過去115年間の日平均気温を対象として温暖化の検証を行ったところ、岐阜市において温暖化は明確であり、温暖化の程度は1940～60年を境に変化していることが示唆された²⁾。本研究は、岐阜市の日平均気温に加え、日最高気温、日最低気温を計算対象とすると共に、比較のために名古屋市、東京都の気温についても温暖化の検証を行ったものである。

2. 使用データと期間

岐阜、名古屋、東京の気象官署で観測された日平均気温、日最高気温、日最低気温の月平均値および年平均値³⁾を用いる。また前年の12月、1、2月の3ヶ月の月平均値を平均したものを冬、3～5月の平均を春、6～8月の平均を夏、9～11月の平均を秋とし、季節別の平均値も解析対象とした。データ期間は岐阜が1883～1997年、名古屋が1891～1997年、東京が1876～1997年である。本研究では、例えば日平均気温の1月の平均値を観測年代順に並べたものを「1月の日平均気温時系列」と呼ぶことにし、記号 x_t ($t=1,2,\dots,n$)で表現する。ここで t は年を表し、便宜上データ期間の最初を $t=1$ 、データ期間長を n としている。

3. 解析方法

トレンド解析手法には様々なモデルが提案されているが、本研究では温暖化の検証および温暖化していると判断された場合にはその程度を求めることを目的としているので、①トレンドを一本の直線で表現する一次回帰モデル、②二本の直線で表現する二分分割モデル、の二つのモデルを用いる。「トレンドが原データ系列の特性を良く表現しているか」という観点からは曲線で表現できるモデルを用いた方が適当な場合も多々あると思われるが、「どの程度気温が上昇しているか」を最も端的に表現するためには直線を用いたモデルの方が適当であろう。

(1)一次回帰モデル t を説明変数、 x_t を目的変数とした一次回帰直線によりトレンドを表現する。回帰直線の傾きが1年あたりの時系列の変化、すなわち気温上昇（または下降）の程度を表す。また、回帰直線の有意性の検定を行うことで、温暖化しているか否かの判定を行うことができる。

(2)二分分割モデル 時系列データ全体を境界年 T で二分分割($t=1,2,\dots,T$; $t=T+1,T+2,\dots,n$)し、分割した期間ごとに別の直線でトレンドを表現する。ただし、分割の境界ではトレンドは連続するものとする。つまり、分割の境界で折れ曲がる形になる。このような折れ曲がり直線は無数に考えられるが、最小二乗法の観点からトレンドと原データの差の二乗和が最小となるような折れ曲がり直線をトレンドとする。

(3)AICによるモデルの適否の判定 温暖化の程度がデータ期間に渡って一様であれば一次回帰モデルによりトレンドを表現することができよう。それに対して、データ期間内で温暖化の程度が変化しているような場合には二分分割モデルの方がトレンドとして適当である。どちらのモデルが適しているかを次式のAICにより判定する⁴⁾。

$AIC = n \log_e 2\pi + n \log_e (e^2/n) + n + 2P$ e^2 :トレンドとデータの差の二乗和、 n :データ数、 P :パラメータ数
 AICが小さい方が適したモデルになる。二分分割モデルの方が一次回帰モデルに比べてモデルの自由度が高い分、トレンドがデータに近づき e^2 は小さくなる。すなわち、モデルのあてはまりの良さという面からは二分分割モデルの方が適している。その反面、パラメータ数は、一次回帰モデルが2個、二分分割モデルが4個と二分分割モデルのパラメータ数は一次回帰モデルの二倍であり、多くのパラメータを推定せねばならない。一般に数多くのパラメータの推定はデータに左右されやすくパラメータ推定が不安定になる。すなわち、パラメータ推定の安定性という観点からはパラメータ数が少ない一次回帰モデルの方が適している。AICはモデルのあてはまりの良さやパラメータ推定の安定性の両者を勘案した基準であり、AICにより二分分割モデルが採択されれば、時系列データの変化は一様でなく、分割された区間ごとに変化の程度に差があると解釈できる。

4. 解析結果

岐阜市春の日平均気温を対象として、二分分割モデルでモデル化した場合の各境界年におけるAICの値を図-1に示す。図中における実線は一次回帰モデルのAICである。図をみると、境界年を1900～1980年と仮定した場合に、

キーワード：温暖化、東海地方、トレンドの折れ曲がり、AIC

* 〒501-0495 岐阜県本巣郡真正町 TEL 058-320-1397 FAX 058-320-1409

** 〒380-8553 長野市若里500 TEL 026-226-4101 FAX 026-223-4480

*** 〒644-0023 和歌山県御坊市名田町野島77 TEL 0738-29-2301 FAX 0738-29-2574

二分割モデルのAICが一次回帰モデルのAICを下回っており、二分割モデルの方が適していることが分かる。境界年を1931年にした場合にAICが最小になり最適モデルとなる。したがって、この年を境にトレンドの傾きは変化していると思われる。図-2が岐阜市春の日平均気温のトレンドを推定したものであるが、データをみると全体としては増加傾向にあるものの、1880～1930年はほとんど変化しておらず、一次回帰モデルよりも二分割モデルの方が全体の傾向をよく表していることが分かる。このように二分割モデルは、時系列データの変化の程度が一様でない場合に有効なモデルである。

年平均および季節平均気温のトレンド解析結果を表-1に示す。紙面の都合上、東京と名古屋については日平均気温の結果のみを示している。まず、一次回帰モデルの結果をみると、全てのデータに対して傾きは正になっており温暖化していることが分かる。得られた回帰直線について検定を行ったところ、いずれも1%有意であった。日平均気温では、東京の冬の傾きが0.030と最も大きく100年あたり3度の気温上昇であることが分かる。季節別にみると、どの地点でも、夏よりも秋や冬といった寒い季節の傾きが大きくなっている。また、岐阜について日平均、日最高、日最低気温の傾きを比較すると、日最低気温の傾きが大きくなっている。

一次回帰モデルと二分割モデルのAICを比較し、AICが小さい方が適したモデルとなるが、境界年の列に年が記入してあるデータが二分割モデルが適している場合であり、ほとんどのデータについて二分割モデルが適している、すなわち温暖化傾向はある年代を境に変化していると思われる。二分割モデルについて、分割の前半の傾きと後半の傾きを比較すると、ほとんどの場合に後半の傾きが大きくなっており、近年になって温暖化は激しくなっていることを表している。

今回対象とした気温時系列は全部で153系列であるが、二分割モデルが適していたのは112系列であり全体の約3/4の系列についてデータ期間の途中で温暖化の傾向は変化していることになる。図-3は二分割モデルが適していると判定されたデータ系列の境界年について年代別に頻度を求めたものであるが、境界年は1920～1940年代に集中しており第二次世界大戦後の社会情勢の変化との関連が示唆される結果となった。

5. まとめ

本研究の結果は近年になり温暖化が激しくなっていることを裏付けるものとなった。気温に限らず、増加減少などの変動傾向が途中で変化しているような時系列データに対し、今回提案した手法は有効だと思われる。

最後に、本研究の計算、図化等に前岐阜工業高等専門学校学生である高橋可奈さんの助力を得たことを記し謝意を表する。

参考文献

- 1) 気象庁編：地球温暖化の実体と見通し、大蔵省印刷局、p.138,1996、
- 2) 鈴木・寒川・小池・高橋：岐阜地方における気温と国土開発状況のトレンド解析、土木学会中部支部平成10年度研究発表会講演概要集、pp.18, 1999、
- 3) 気象庁編：気象年報CD-ROM1997年版、(財)気象業務支援センター、
- 4) 坂元慶行 他：情報量統計学、共立出版、pp.127-138、1983

表-1 ティンデロ推定結果

		一次回帰モデル			二分割モデル			境界年
		傾き	相関係数	AIC	前半傾	後半傾	AIC	
岐阜 日平均	年	0.014	0.67	171.7	0.000	0.023	157.2	1932
	春	0.015	0.57	252.1	-0.008	0.030	233.2	1931
	夏	0.011	0.47	239.5	-0.039	0.015	237.3	1901
	秋	0.014	0.52	265.3	-0.008	0.023	260.4	1923
	冬	0.014	0.43	317.1	0.002	0.024	315.7	1939
岐阜 日最高	年	0.010	0.48	204.3	-0.005	0.017	200.3	1927
	春	0.013	0.48	268.3	-0.007	0.021	263.6	1925
	夏	0.009	0.29	310.4	0.750	0.008	312.2	—
	秋	0.007	0.28	323.4	-0.005	0.013	273.2	1925
	冬	0.010	0.28	343.4	0.550	0.007	340.8	1887
岐阜 日最低	年	0.016	0.71	186.3	0.004	0.026	177.0	1936
	春	0.017	0.57	279.8	-0.006	0.033	265.8	1933
	夏	0.014	0.62	203.3	-0.004	0.016	203.8	—
	秋	0.016	0.53	291.5	0.000	0.026	287.4	1930
	冬	0.016	0.47	321.0	0.575	0.014	315.3	1887
東京 日平均	年	0.023	0.85	175.3	-0.003	0.028	154.6	1909
	春	0.022	0.96	253.2	0.006	0.032	244.7	1924
	夏	0.016	0.55	301.4	-0.020	0.020	299.0	1901
	秋	0.023	0.76	259.8	0.000	0.027	256.8	1906
	冬	0.030	0.77	309.3	0.010	0.057	294.8	1943
名古屋 日平均	年	0.011	0.54	166.8	-0.014	0.026	140.4	1935
	春	0.013	0.48	175.8	-0.017	0.028	205.5	—
	夏	0.006	0.28	223.2	-0.111	0.009	219.3	1900
	秋	0.011	0.40	248.3	-0.010	0.022	241.1	1933
	冬	0.013	0.38	113.8	-0.013	0.033	290.1	—

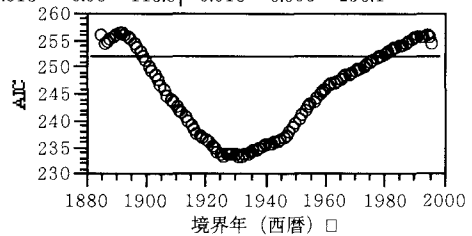


図-1 二分割モデルのAIC（岐阜、春、日平均）

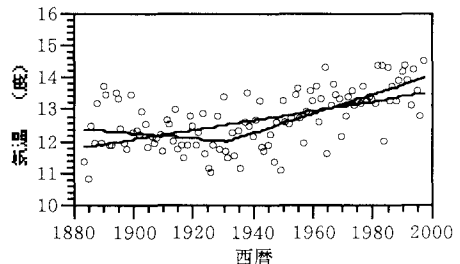


図-2 岐阜市春の日平均気温のトレンド

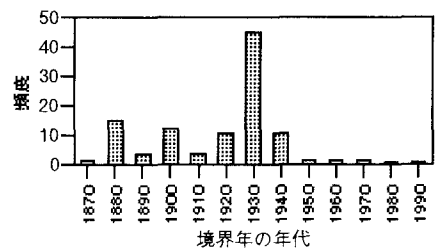


図-3 二分割モデルにおける境界年の頻度