

# 【報文】 群馬県の気候変動に関する解析の一例

中曽根佑一 田子博

## An example of analysis of climate change in GUNMA

Yuichi NAKASONE, Hiroshi TAGO

県内 13 地点の気温データを収集し、気温のヒストグラムをクラスター分析することでグループ分けした。その後、実測値から無作為性を除去した値  $Q'$  を活用して各グループの特徴を把握し、グループを再分類した。その結果、県内の 13 地点は 4 つのグループに分類できた。また、短期間の平均値では異常気象などの偶然性の影響が大きくなるため妥当な評価が行えないとされているが、 $Q'$  を活用することで 10 年間の平均値どうしを比較しても妥当な評価が行えることが示唆された。これらの知見は地域気候変動適応計画の策定やその効果の検証に活用できると思われる。

Key words : 気候変動 Climate change, ヒストグラム Histogram, クラスター分析 Cluster analysis, グループ分け Grouping

### 1. はじめに

2018 年 12 月に気候変動適応法が施行された。この法律で、その区域における自然的、経済的、および社会的状況に応じた気候変動適応に関する施策の推進を図ることが地方自治体の責務として定められた。また、気候変動による影響やその規模は地域の特性によって異なることから、都道府県等がそれぞれの区域の特徴に応じた気候変動適応を推進するため、地域気候変動適応計画の策定に努めることとされた。

その地域において気候変動にどのように適応していくかを検討するには、これまでに受けてきた気候変動による影響や将来のリスクについて、その大きさや重要性を評価（気候変動影響評価）する必要があるとされている（環境省、2018）。気候変動影響評価を実施するには過去から現在までの気候変動を把握する必要があるため、その地域の過去の観測結果等の情報を収集、整理、解析することは、地域気候変動適応計画策定などの第一段階である。

本県の過去から現在までの気候変動の解析は、気象庁により実施されている（東京管区気象台、2016）が、これは前橋地方気象台のデータのみを使用したものである。同じ県内でも山間部などでは気候変動の状況や影響が異なっている可

能性があり、より詳細な解析を実施する必要があると考えている。また、地域気候変動適応計画は複数の地域、自治体で作成できるとされているが、その範囲の目安などは示されていない（環境省、2018）。すなわち、地域気候変動適応計画の策定には、県内複数地域の気候変動を把握するためのデータ収集等と同一の計画を適用できる地域の範囲に関する検討が必要となる。

そこで、気温のヒストグラムによるグループ分けを行い、同一の地域気候変動適応計画が適用できる範囲に関する知見を得るとともに、長期変化傾向による各グループの特徴の把握を試みたので報告する。

### 2. 解析方法

気温のデータは気象庁ホームページから収集した。解析には月平均気温を使用することとした。本稿では触れないが今後、降水量に関する解析も実施する予定であることから、気温および降水量のデータが採取されている観測所（13 地点、図 1）を解析の対象地点とした。解析には Excel および R を使用した。

#### 2.1. 気温のヒストグラムの解析

各地点の気温の相関係数は非常に高く



図 1 観測所の位置図

(0.9952～ 0.9993)、単純にはグループ分けができない。そこで、各地点の気温のヒストグラムを作成し、ヒストグラムによるグループ分けを試みた。ヒストグラムは全地点の全データが収まるように-10°Cから 30°Cで階級幅を 5°Cとして作成した。

解析には全 13 地点の観測が開始された 1977 年 12 月から 2018 年 12 月までの 493 ヶ月分のデータセットのうち、全地点のデータが正常値として揃っている 391 ヶ月分のデータセットを使用することとした。

## 2.2. 各グループの特徴の把握

気温の長期的な変化を見いだすにあたって、観測結果の最初の数年の平均と最近の数年の平均だけで比較すること（例えば、1897 年から 2018 年までのデータがあった場合、1897 年から 1901 年の平均値と 2014 年から 2018 年の平均値を比較すること）を気象庁は推奨していない。これは、データ数が少ないと異常気象による偶然性の影響を大きく受けるため、選択する期間の違いによって変化傾向が大きく変化し、対象期間の平均的な変化をよく表したのとは言えなくなるためとされている（気象庁 HP、2019 年 6 月閲覧）。偶然性の影響を除外するのに必要なデータ数については明言されていないが、気温の長期変動の解析において基準となる平均気温の算出に 30 年分のデータが使用されていることから、我々は 30 年分のデータが必要と推測した。すなわち、平均値どうしを比較したい場合、最低でも 60 年分のデータが必要

となる。

しかし、行政が作成する計画の性質上、数年おきに効果の検証と計画の見直しが必要となり、ある期間と最近の期間の平均の比較を行えることが望ましい。また、前橋以外の観測所では 40 年程度のデータしか蓄積されておらず、偶然性の影響を除去した平均値を比較するのに十分なデータ数を確保することができない。偶然性による影響を統計的手法によって除去できれば、少ないデータ数でもある程度信頼性の高い評価が可能であると考えた。そこで、三浦ら（2017）の手法を参考に実測値から無作為性（偶発性）を除去することを試みた。

ある時点  $t$  の実測値（観測結果）を季節性、トレンド性、循環性、無作為性の関数(1)で表せると仮定する。季節性は 12 ヶ月の循環的な変動、トレンド性は長期にわたる変動、循環性は複数年にわたる循環的な変動、無作為性は台風等の突発的な気象や測定誤差の影響などの長期的な変動とは無関係な偶発的な変動を表す。

$$Q_t = S_t \times T_t \times C_t \times R_t \quad (1)$$

ここで、 $Q_t$  は  $t$  期の実測値、 $S_t$  は  $t$  期の季節指数、 $T_t$  は  $t$  期のトレンド性、 $C_t$  は  $t$  期の循環性、 $R_t$  は  $t$  期の無作為性である。

まず、12 ヶ月後方移動平均（MA）を求める。MA は 12 ヶ月の平均であることから季節性と無作為性を除去した値（ $T \times C$ ）と考えられる。実測値を MA で除することで各期の  $S \times R$  を算出し、この  $S \times R$  を月ごとにトリム平均（上限値と下限値を除去した平均）を行うことで無作為性  $R$  を除去し各月の  $S$  を求めた。その後、各月の  $S$  を季節指数の年平均で除することで年平均が 1 となる季節指数  $S'$  を求めた。

最後に、 $S'$  と MA を乗じることで無作為性を除去した各月の実測値  $Q't$  を求めた（式(2)）。

$$Q't = MA \times S' = \frac{Q_t}{R_t} \quad (2)$$

$Q't$  を求める過程で 12 ヶ月後方移動平均を算出しているため、測定開始直後からの 11 ヶ月分のデータが欠損する。前橋では 1897 年 1 月

から観測を行っているので、 $Q't$  は 1897 年 12 月から算出されることとなる。

$Q't$  の  $y$  年間の平均値を  $\overline{Q}_y$  とする。前段で算出した  $Q't$  から 1 年間の平均値 (年平均値)  $\overline{Q}_1$  を算出した。12 ヶ月分のデータが揃っていない年は平均値が正しく見積もれないため、そのような年は除外した。求めた  $\overline{Q}_1$  の回帰直線の傾き  $\Delta T$  を長期変化傾向を示す指標とし、 $\overline{Q}_1$  の平均値  $T_{Ave}$  を平均気温の指標として、各グループの特徴を探った。なお、気象庁ホームページにおいて準正常値と参考値 (142 個/7392 個) とされている値も解析に使用した。

### 2.3. 10 年毎の平均値の算出

前節で求めた  $\overline{Q}_1$  の 10 年毎の平均値  $\overline{Q}_{10}$  を算出した。館林は  $\overline{Q}_1$  が 1980 年からであるため、1979~1988 年の区分の値は 1980~1988 年の 9 年間の平均値である。桐生は 1977 から、前橋は 1898 年から  $\overline{Q}_1$  が算出されているが、最も古い区分のデータ数が少ないため除外することとした。前節と同様に  $\overline{Q}_{10}$  の傾き  $\Delta T_{10}$  を長期変化傾向の指標とした。

## 3. 結果および考察

### 3.1. 気温のヒストグラムの解析

各区分の出現数を示したヒストグラム (図 2) を目視で確認したところ、ヒストグラムの形が異なる地点があると判断した。

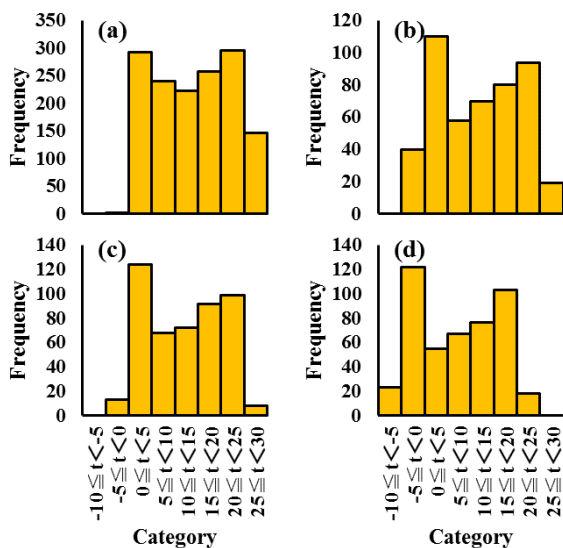


図 2 各観測地点の気温のヒストグラムの例  
a: 前橋、b: 沼田、c: 神流、d: 田代

そこで、このヒストグラムのデータセットについて、各区分の出現数を総データ数で除して標準化した後に、平方ユークリッド距離を算出しウォード法によるクラスター分析を実施した (図 3)。クラスター分析の結果、Group A (田代、草津、水上、藤原)、Group B (神流、西野牧、中之条、沼田)、Group C (上里見、前橋、桐生、館林、伊勢崎) に分けられた。各地点の標高 (気象庁、2019) を見ると、Group A は 531~1230 m、Group B は 354~390 m、Group C は 23~183 m であり (表 1)、気温のヒストグラムによるグループ分けと標高に関連性があることが示唆された。

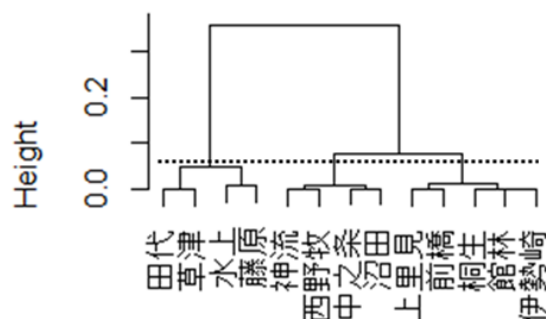


図 3 クラスター分析結果

表 1 各地点の標高

Group	地点名	標高 m	Group	地点名	標高 m
A	田代	1230	C	上里見	183
	草津	1223		前橋	112
	水上	531		桐生	117
	藤原	700	館林	23	
B	神流	357	伊勢崎	64	
	西野牧	375			
	中之条	354			
	沼田	390			

### 3.2. 各グループの特徴の把握

各地点の実測値の傾き  $\Delta T_M$  と  $\Delta T$  の比は 0.925 ~ 1.04 の範囲にあり (表 2)、 $\Delta T_M$  と  $\Delta T$  の差、すなわち無作為性を除去することの影響は ± 10 % 未満であった。

各地点の  $T_{Ave}$  や  $\Delta T$  など (表 2) から各グループの特徴を推察した。前橋はデータ数がほぼ同じになるよう 1979 年からの解析結果を使用

した。Group A は「平均気温 ( $T_{Ave}$ ) が低く、長期変化傾向 ( $\Delta T$ ) が小さい」、Group C は「平均気温が高く、長期変化傾向が大きい」、Group B は「平均気温、長期変化傾向ともに Group A と Group C の中間」と言えるであろう。ただし、神流については、クラスター分析では Group B に分類されたが、 $\Delta T$  が著しく低く、他の地点と同様の気候変動適応計画を適用することが必ずしも適切であるとは考えられないため、Group B から除外し、単独で Group D とした。これにより、群馬県内の地域は Group A (田代、草津、水上、藤原)、Group B (西野牧、中之条、沼田)、Group C (上里見、前橋、桐生、館林、伊勢崎)、Group D (神流) の 4 グループに分類できた。

表 2 各地点の気温の解析結果

Group	地点名	$T_{Ave}$	$\Delta T_M$ °C/100年	$\Delta T$ °C/100年	$\Delta T/\Delta T_M$	解析期間
A	田代	7.91	1.79	1.75	0.973	1979~
	草津	8.05	1.76	1.73	0.988	1979~
	水上	10.7	1.19	1.09	0.916	1979~
	藤原	9.34	2.55	2.51	0.983	1979~
B	神流	12.2	0.152	0.141	0.925	1979~
	西野牧	12.6	2.93	2.95	1.01	1979~
	中之条	12.3	2.98	2.99	1.00	1979~
	沼田	12.1	4.12	4.13	1.00	1979~
C	上里見	14.2	3.91	3.93	1.00	1979~
	前橋	14.7	3.99	3.82	0.958	1979~
	桐生	15.2	2.83	2.82	1.00	1977~
	館林	15.8	5.08	5.28	1.04	1980~
	伊勢崎	15.7	5.88	5.90	1.00	1979~

日本の都市部の気候変動は都市化の影響も受けていると言われている (藤部、2011)。都市部とは言えない地点もあり、また、人口密度は厳密には都市化の指標とは異なるが、今回は各観測所の所在地 (市町村) の人口密度 (群馬県、2019) と  $\Delta T$  との関係調べた (表 3)。人口密度と  $\Delta T$  のピアソンの積率相関係数は 0.69 であり相関があることが判明した。都市化の指標と

表 4 各地点の  $\overline{Q}_{10}$  と長期変化傾向

	館林	伊勢崎	桐生	神流	西野牧	上里見	田代	中之条	沼田	草津	水上	藤原	前橋
1979-1988	14.1	13.7	14.0	11.9	11.5	12.9	6.94	11.3	10.9	7.14	10.1	8.39	13.9
1989-1998	14.9	14.5	14.3	12.0	12.0	13.6	7.13	11.9	11.7	7.50	10.2	8.85	14.6
1999-2008	15.4	15.3	14.4	11.8	12.4	14.0	7.37	12.3	11.9	7.52	10.4	9.17	14.9
2009-2018	15.7	15.5	14.9	12.0	12.4	14.1	7.48	12.2	12.3	7.76	10.5	9.20	15.2
$\Delta T_{10}$	5.34	6.13	3.05	0.24	3.09	4.10	1.86	3.16	4.36	1.89	1.19	2.76	4.01

しては都市化指標 (環境情報科学センター、2011) などがあるため、これらと併せて解析することで、さらに適格なグループ分けを行う手法を見いだせるかもしれない。

表 3 各地点の人口密度

Group	地点名	市町村名	人口密度 人/km <sup>2</sup>	$\Delta T$ °C/100年
A	田代	嬭恋村	28.3	1.75
	草津	草津町	127.3	1.73
	水上	みなかみ町	23.2	1.09
	藤原	みなかみ町	23.2	2.51
B	西野牧	下仁田町	36.1	2.95
	中之条	中之条町	36.2	2.99
	沼田	沼田市	105.0	4.13
C	上里見	高崎市	805.2	3.93
	前橋	前橋市	1072.8	1.95
	桐生	桐生市	400.3	2.82
	館林	館林市	1230.0	5.28
	伊勢崎	伊勢崎市	1510.4	5.90
D	神流	神流町	14.9	0.141

### 3.3. 10年毎の平均値の算出

各地点の  $\overline{Q}_{10}$  の推移を図 4 に示す。前橋の 1979 年から 2018 年までの  $\Delta T_M$  (3.99 °C/100 年) と実測値の 10 年平均値の傾き (4.67 °C/100 年) との差は 0.68 °C/100 年 (17 %) である。一方、同期間の  $\Delta T_{10}$  は 4.01 °C/100 年 (表 4) であり、 $\Delta T_M$  との差は 0.02 °C/100 年 (0.5 %) であった。このことから、今回用いた手法により無作為性の影響を除去することができ、短期間の平均値どうしを比較できるようになったと考えている。

前橋の 1899 ~ 1928 年の  $\overline{Q}_{10}$  の傾き (1.50 °C/100 年) と 1979 ~ 2018 年の傾き (4.01 °C/100 年) を比較すると上昇率は約 2.7 倍となった。このことから、平均気温が上昇傾向にあるだけでなく、その上昇速度も大きくなっていることが示唆された。 $\Delta T_{10}$  が最も大きいのは伊勢崎で、最も小さいのは神流であり

(表 4)、この 2 地点の差は 5.89 °C/100 年と非常に大きかった。このことから、同じ県内であっても気候変動の度合いが大きく異なり、同一の適応策を策定することは不適切であることがわかる。

この解析結果は無作為性を除去しているため、10 年毎の平均値を比較しても妥当な結果が得られると考えている。今後、最新のデータを順次追加していくことで、前期間からの変化を容易に確認することができ、施策の効果の検証などに活用できるであろう。

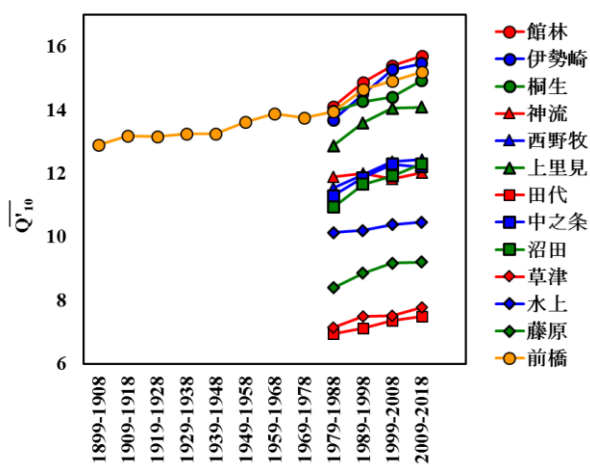


図 4  $\overline{Q}'_{10}$  の推移

#### 4. まとめ

今回は解析の一例として、気温のヒストグラムによるグループ分けと  $\overline{Q}'$  の傾きによる長期変化傾向の解析などを実施した。

県内の 13 地点は「平均気温が低く、長期変化傾向が小さい」、「平均気温が高く、長期変化傾向が大きい」「平均気温、長期変化傾向ともに中程度」という特徴を持つグループとほとんど気温の上昇していない神流の計 4 つのグループに分類できることが明らかとなった。また、無作為性を除去することで短期間の平均値どうしの比較が可能となった。今後、新しいデータを順次追加していくことで、気候変動適応計画の効果の検証等に活用できる。

これら知見は気候変動適応計画を策定する上で重要なものであると考えている。今後は、結果の妥当性評価や判断の仕方について検討していく予定である。

#### 文献

- 藤部文昭. 2011. 日本の気候の長期変動と都市化—2010 年度日本気象学会賞受賞記念講演—. 天気, **58(1)**: 5-18.
- 群馬県. 2019. 平成 30 年群馬県移動人口調査結果. 群馬県統計情報提供システム. (<https://toukei.pref.gunma.jp/idj/>). (2019 年 7 月閲覧)
- 環境省. 2018. 地域気候変動適応計画策定マニュアル—手順編—. 環境省ホームページ (<http://www.env.go.jp/earth/tekiou.html>). (2019 年 4 月閲覧)
- 環境情報科学センター. 2011. 平成 22 年度熱中症とヒートアイランド現象の関係解析調査業務報告書. 環境省ホームページ (<http://www.env.go.jp/air/report/h23-02/index.html>). (2019 年 6 月閲覧)
- 気象庁. 2019. 地域気象観測所一覧. 気象庁ホームページ (<https://www.jma.go.jp/jma/kishou/know/amedas/kaisetsu.html>). (2019 年 6 月閲覧)
- 三浦真吾ら. 2017. 10 年間の月例水質調査における栄養塩等流出特性の降雨時出水を中心とした短期変動要因の解析. 水環境学会誌. **40(1)**:1-9.
- 東京管区气象台. 2016. 気候変化レポート 2015 - 関東甲信・北陸、東海地方 -. 19-21. 気象庁ホームページ ([https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/gw\\_portal/region\\_climate\\_change.html](https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/gw_portal/region_climate_change.html)). (2019 年 4 月閲覧)