

## 日本の気候変化の展望—2012—

大河内 康正\* 伊藤 美樹\*\* 源 友樹\*\*\*

## Climate Perspective in Japan at 2012

Yasumasa Okochi\*, Miki Ito\*\*, Yuhki Minamoto\*\*\*

In this investigation, recent climatic change in Japan area is analyzed. The purpose of the present study is to evaluate the recent trends of the average temperatures and other weather records (1983-2012). The annual average temperatures in most prefectures are rising at a rate of 3-4°C /100years and they have a certain degree of relationship with the human activities. It is found that the annual average of the daily maximum, the daily mean and the daily minimum temperatures are rising, and the average amount of solar radiation and the sunshine duration are increasing for 30 years. Further, the annual maximum of the hourly rainfall intensity is also increasing. It is possible that the global warming has affected the climate in Japan.

キーワード：日本の温暖化, アメダスデータ解析, 気象要素, 経年変化率, 都道府県による違い

Keywords : warming in Japan, AMeDAS data analysis, meteorological elements, annual change rate, prefectural difference

## 1. はじめに

2013年8月, 各地で観測開始以来の最高気温を更新し, 特に高知県四万十市では最高気温41.0°Cを記録した。また, 豪雨や干ばつ, 竜巻を伴った台風など異常気象が頻発した。これらの異常気象は, 温暖化と何らかの関係があると考えられる<sup>1)</sup>。

近年, 地球温暖化は深刻な環境問題の1つとして一般的に認識されている。気候変動に関する政府間パネル(IPCC)は, 2007年の第4次報告書<sup>2)</sup>の中で地球温暖化は, 「各種の気候データや実測値から疑う余地がない」としている。気象庁が発表する2012年の世界の年平均気温<sup>3)</sup>によると陸域における地表付近の気温と海面水温の1981~2010年の平均基準からの偏差は+0.14°C(20世紀平均基準における偏差は+0.51°C)で, 1891年の統計開始以降, 8番目に高い値となった。長期的には100年あたり約0.68°Cの割合で上昇していると推定されており, 日本の年平均気温は, 100年あたり約1.1°Cの割合で上昇し, 特に1990年代半ば以降, 高温となる年が多くなっている<sup>4)</sup>。

日本の将来の気候予測<sup>5)</sup>では, 地球温暖化によって, 大気に含まれる水蒸気量が増えることなどにより, 日本のほとんどの地域で年降水量(雨または雪の量)が増加する。また, 北海道では雪の量が増え, 東北地方以南では雪の量が減ると予測され, 北海道は温暖化が進んでも依然として

気温が低く, 東北地方以南は気温の上昇によって雪ではなく雨が降る場合が増えるためと考えられている。

これまでの研究<sup>6)-9)</sup>では過去30年間(1981年~2010年)の平均気温経年変化は100年あたり4.1°C(決定係数0.428)上昇したと推定されており, 年降水量は過去30年間(1981年~2010年)の年降水量の経年変化は2.06 mm/年(決定係数0.012)の増加が見られるが, 統計的に有意ではない。本研究では, これまでの研究を引き継ぎ, より最新のアメダスおよび気象官署の地上データを用いて温暖化による気候の変化のトレンドを観測されている気象要素ごとに日本の全域について解析し評価する。

## 2. 使用データ

本研究では, 気象庁の地域気象観測システム AMeDAS (Automated Meteorological Data Acquisition System) 通称「アメダス」などによって観測され, 気象庁の Web サイトに公開されたデータ<sup>10)</sup>を使用する。アメダスとは, 気象状況を時間的, 地域的に細かく監視するために, 降水量, 風向・風速, 気温, 日照時間などの観測とデータの収録を自動的に行うものである。現在, 約1300の観測所で降水量が観測されているが, 今回は降水量だけではなく気温も同時に経年変化傾向を解析するため, 気象官署・四要素観測所・三要素観測所(臨時観測所を含まない)のデータを使用する。そのため, 総地点数は919カ所となり, その詳細を表1に示す。統計期間については気候変動などの短期的な気象変化を知る基準になる30年を用いる。より最新の現状を知るために現段階で最近30年の1983年から2012年までの期間とした。

気象要素は【年積算】降水量, 日照時間(三要素観測所

\* 建築社会デザイン工学科  
〒866-8501 熊本県八代市平山新町2627  
Dept. of Architecture and Civil Engineering,  
2627 Hirayama, Yatsushiro-shi, Kumamoto, Japan 866-8501

\*\* 土木建築工学科 (平成25年卒業)

\*\*\* 土木建築工学科 (平成24年卒業)

表1 都道府県別観測所数

地方	県名	気象官署	四要素	三要素	観測所数
北海道	宗谷支庁	2	9	3	14
	上川支庁	1	21	1	23
	留萌支庁	2	7	0	9
	石狩支庁	0	0	1	1
	空知支庁	1	9	0	10
	後志支庁	3	8	0	11
	網走支庁	3	17	2	22
	根室支庁	1	7	1	9
	釧路支庁	1	10	1	12
	十勝支庁	2	16	1	19
	胆振支庁	2	9	0	11
	日高支庁	1	7	0	8
	渡島支庁	1	8	1	10
檜山支庁	1	4	1	6	
東北	青森県	4	18	1	23
	岩手県	3	30	1	34
	宮城県	2	16	1	19
	秋田県	1	23	2	26
	山形県	3	17	2	22
	福島県	4	25	1	30
関東	茨城県	2	12	0	14
	栃木県	2	12	0	14
	群馬県	1	12	0	13
	埼玉県	2	6	0	8
	千葉県	4	10	1	15
	東京都	1	6	1	8
	東京都（離島）	5	2	4	11
	神奈川県	1	4	0	5
	中部	新潟県	3	24	2
富山県		2	7	1	10
石川県		2	8	1	11
福井県		2	7	1	10
山梨県		2	8	0	10
長野県		5	24	1	30
岐阜県		2	21	0	23
静岡県		7	11	1	19
愛知県		2	9	1	12
三重県		4	8	0	12
近畿	滋賀県	1	8	0	9
	京都府	2	6	0	8
	大阪府	1	5	3	9
	兵庫県	4	15	1	20
	奈良県	1	5	0	6
	和歌山県	2	10	1	13
中国	鳥取県	3	6	1	10
	島根県	3	13	3	19
	岡山県	2	13	1	16
	広島県	3	16	1	20
	山口県	3	12	1	16
四国	徳島県	1	8	0	9
	香川県	2	4	1	7
	愛媛県	2	12	1	15
	高知県	4	11	1	16
九州	福岡県	2	10	2	14
	佐賀県	1	4	1	6
	長崎県	6	8	6	20
	熊本県	4	13	1	18
	大分県	2	12	1	15
	宮崎県	4	12	1	17
沖縄	鹿児島県	7	20	6	33
	沖縄県	8	10	12	30
	総計	155	685	79	919

での観測はない), 【年平均】日平均気温, 日最高気温, 日最低気温, 風速, 【年極値】日最大降水量, 1時間最大降水量, 最高気温, 最低気温, および気象官署のみで測定され

る【年平均】海面気圧, 蒸気圧, 相対湿度, 日積算全天日射量を対象とする。

ここで, 年平均日最高気温, 日最低気温, 日平均気温は1日24時間の正時に計測された24個のデータの最高値・最低値および平均値の1年平均値のことで, 年最高気温, 年最低気温は1年間の極値である。しかし, 最高気温, 最低気温値は, 2003年以降は10分おきのデータをもとに, 2009年以降はさらに詳細なデータをもとに求められている。そのため, 日平均最高気温や年最高気温は高く, 日平均最低気温や年最低気温は低くなるが増えた。また風速や日照時間, 日射量は周辺の建物や植物などの環境変化も関係するため, 経年変化解析には, この点も注意が必要である。特に風速計については地上からビルの上に移転したり, 塔の高度を上げるなどの変更が加わり結果として風速が強くなっている。

観測地点の変更のあった数地点についても, HP上で観測点の名称が同一でありかつ, 新しい観測点が元の観測点の近隣であれば修正なしに継続データとして, できる限り利用した。気象データの表示は, 欠測のあるデータには数値の後に“J”が付き, 1年を通して観測がないデータは空白で表示されている。「欠測データ」と「観測無し」のデータの扱いについては, 両者とも無視するものとし, 平均する場合においては1年を通して観測された値のみで平均することにした。

### 3. 気象データ収集プログラム

気象庁HPのデータを用いるにあたって, 過去の研究の収集・解析プログラム<sup>8)</sup>を参考にExcelのVisual Basicでプログラムを作成した<sup>11)</sup>。従来のプログラム(図1)では, 一つのFormにデータ収集から計算の流れをすべて表示していた。今回は, 作成するにあたって利便性を追求し, 地域, 観測所の種類, 気象要素, 収集期間など, 使い手の目的に応じた多様な選択と収集ができるように改訂した。これにより, 任意の地方や都道府県, 複数の気象要素の収集が可能になった。

プログラムのあるBookには, 予め観測地点のデータを検索するための情報をSheetに全国, 地方, 県ごとまとめて入力してあり, これを利用して必要な条件のデータを収集する。入力してある情報は観測所の地点番号, 都道府県の番号, 都道府県名(北海道は支庁), HPを検索する際の数字, 地点名, 観測の区分, 日射量の有無, 観測地点の緯度, 経度, 標高である。その他に地方名, 都道府県名, 観測したい西暦も必要である。

マクロを実行するとForm1(図2)が出現するので, 地域と観測所の種類を選択する。地域を選択には全国, 地方, 都道府県の3種類あり, 地方と都道府県はComboBoxにより任意の地方や都道府県を1つ選択できる。観測所の種類選択では気象官署・四要素観測所・三要素観測所と気象官署のみを選択することができる。Form1の選択が終わり決定ボタンを押すと, Form1の選択結果からHPを開き,

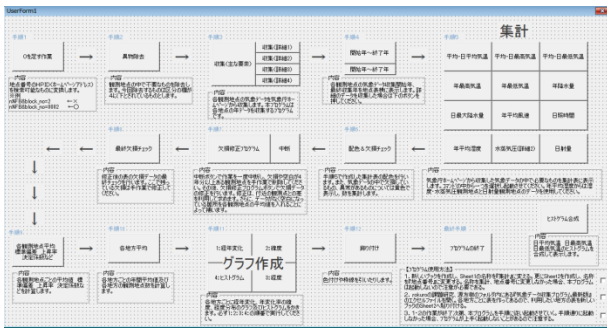


図1 初期のプログラムフォーム



図2 Form1

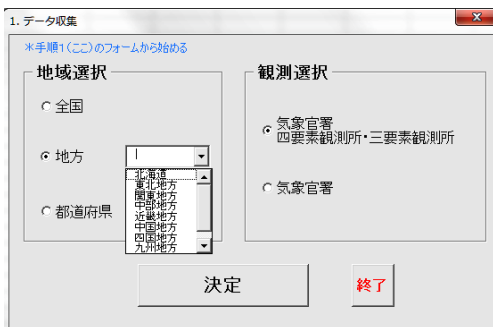


図3 Form2

データを新しい Book に貼り付け、Form2 (図3) が現れる。

Form1, Form2は連動しており、気象官署のみで観測される海面平均気圧、蒸気圧、平均湿度、全天日射量の項目はForm1で選択された観測所の種類によって、表示・非表示と切り替わる。Form2では収集する気象要素とその収集期間を選択する。気象要素はCheckBoxで複数選択することが可能である。また、収集期間はプログラムの入ったBookのSheetに関する西暦が入力されている。Form2での選択が終わって、集計ボタンを押すと、貼り付けされていたデータからForm2で指定されたデータを新しく追加されたBookの個別Sheetに気象要素ごとに分けて記録される。

次に、観測期間が30年間に5年間以上の欠測がある地点については、解析データから除外した。Form3に移り計算の実行のボタンを押すと、観測地点ごとの平均値、変化率、標準偏差、決定係数を計算し、さらに、収集した選択した

地域での全観測点での年ごとの平均値を出し、全地点の30年間の平均値、変化率、標準偏差を求め終了する。

#### 4. 気温変化

30年間 (1983~2012) のデータを使った平均気温の100年当たりの上昇率の全観測地点の平均は、 $3.0 \pm 0.9^\circ\text{C}$  であり、98%の観測地点でプラスの変化率を示している。 $\pm 0.9^\circ\text{C}$ は、標準誤差である。図4には、100年当たり気温上昇率の観測地点の相対度数 (%) を示している。範囲 $2.5 \sim 3.5^\circ\text{C}$ に43%が入っている。離島や北海道などで小さく、東京や大阪などの大都市圏で大きい値である。このことから都市のヒートアイランドの影響が大きいと考えられる。図5に、全国の平均気温の経年変化をしてみる。変動は見

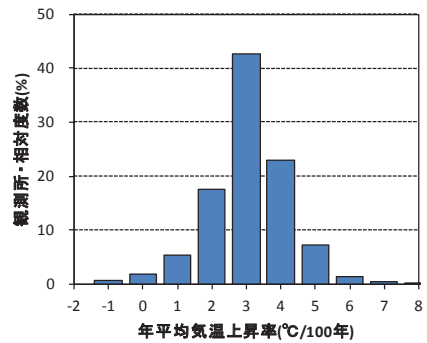


図4 30年間 (1983-2012) の全国のアメダス817観測地点の100年当たり気温上昇率の頻度分布

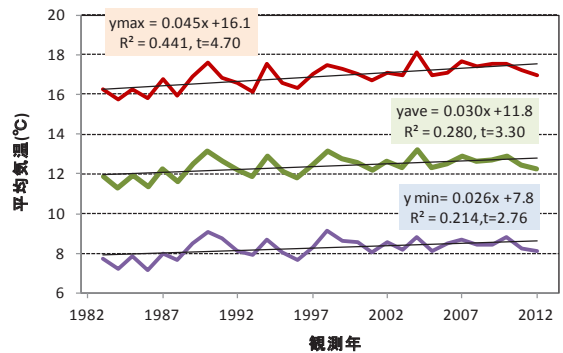


図5 アメダス観測点の年平均気温の経年変化上から日最高気温、日平均気温、日最低気温

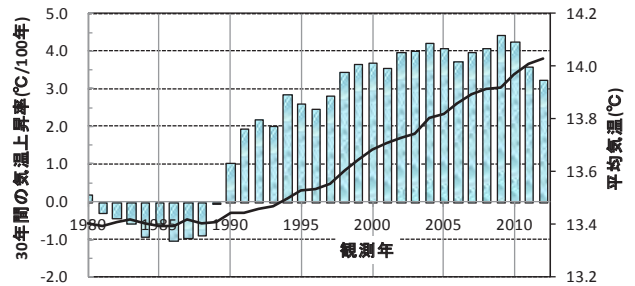


図6 気象官署137地点から見積もった30年間の移動平均気温 (折れ線) および100年当たり変化率 (棒グラフ)

られるものの、気温は上昇傾向にあることは明らかで、統計的にもt検定で $t=3.30$  (有意水準2.5%では、 $t>2.05$ で有意)と有意である。同様に、気温関係の上昇率は、日最高気温 $4.5\pm 1.0^{\circ}\text{C}/100$ 年および日最低気温の年平均値 $2.6\pm 0.9^{\circ}\text{C}/100$ 年、年最高気温 $2.9\pm 1.6^{\circ}\text{C}/100$ 年、年最低気温 $5.7\pm 2.1^{\circ}\text{C}/100$ 年などいずれも上昇傾向を示し、危険率5%以下で有意である。これらの変化傾向は、5節表2に一覧表としてまとめている。

ここで、全観測点の年平均気温の期間1983-2012の上昇率 $3.0^{\circ}\text{C}/100$ 年は、期間1980-2009の上昇率 $4.1\pm 0.9^{\circ}\text{C}/100$ 年<sup>8)</sup>より小さな値となった。30年間の平均気温の変化率は3年間のデータの入れ替えでこれほど差が出る量であることは明記されなければならない。

アメダス観測データは、30数年間の蓄積があるが、さらに、長期的な変化を見るためには地方気象台や各地の測候所などの気象官署のデータを解析する必要がある。最近30数年間における気象官署のデータとアメダス観測点のデータと比較してみると両グループ間に有意な差はなかった。そこで長期のデータが蓄積されている地方気象台などの気象官署137観測点について、1980年以降の各年の過去30年間の移動平均気温と変化率の経年変化を図6に示す。気温

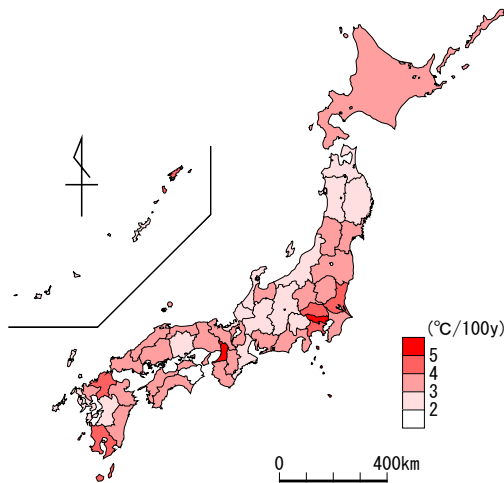


図7 都道府県別100年あたり平均気温変化率 ( $^{\circ}\text{C}/100$ 年)

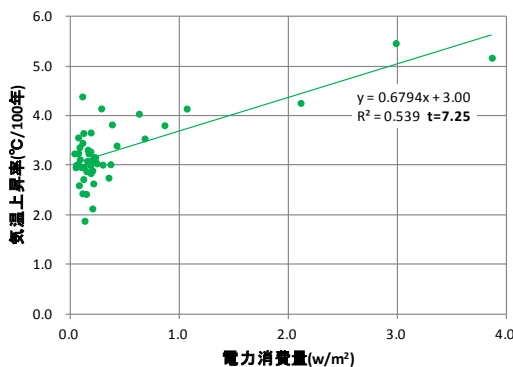


図8 都道府県別平均気温上昇率に対する単位面積当たりの電力消費量の関係

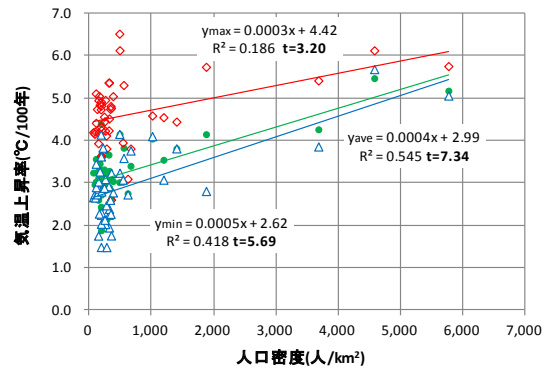


図9 気温上昇率 ( $^{\circ}\text{C}/100$ 年) と人口密度 (人/ $\text{km}^2$ ) の関係上から日最高、日平均、日最低気温の上昇率

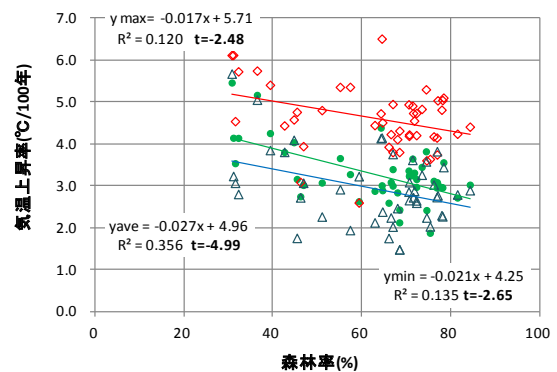


図10 気温上昇率 ( $^{\circ}\text{C}/100$ 年) と森林率 (%) の関係上から日最高、日平均、日最低気温の上昇率

は1990年より上昇を続けているが、変化率もプラスに転じて増加し、2009年 $4.4^{\circ}\text{C}/100$ 年をピークに2012年 $3.2^{\circ}\text{C}/100$ 年へと減少傾向が見られる。

図7に、平均気温の変化率の都道府県別の分布<sup>12)</sup>を示した。東京都、および隣県の茨城、埼玉、神奈川、その他大阪府、福岡、鹿児島が大きな上昇率を示している。

図から、平均気温は、都市のヒートアイランドの影響を受けていると推察できる。どの程度受けているかを推定するために、代表的な量との関係を見てみる。図8は、各県の単位面積当たりの電力使用量と都道府県平均気温上昇率の関係を示したものである。電力使用量が $1.0\text{W}/\text{m}^2$ 増加すると変化率は $0.68^{\circ}\text{C}/100$ 年 上昇する。次に、都道府県の人口密度との関係を見てみる。平均気温上昇率で見ると、 $1\text{km}^2$ に1000人増えると、 $0.4^{\circ}\text{C}/100$ 年 上昇する。人口密度の寄与率は0.545、 $t=7.3$ と信頼度は大きい。日最低気温や日最高気温の上昇率も人口密度とともに増大する傾向がある。人口密度が0の極限では、 $3.0^{\circ}\text{C}/100$ 年 の上昇率となる。

一方、森林は都市化とは反対に温暖化の緩和効果が期待できる。気温上昇率と森林率の関係について見る。森林率とは、各都道府県の森林面積をそれぞれの面積で除したものである。図10から森林率の増加とともに気温上昇率の減少が見られ、10%森林率が増加すると、平均気温上昇率



は0.3℃/100年 小さくなる。寄与率は0.356,  $t = -5.0$ と変化率は有意である。日最高気温, 日最低気温の上昇率についても森林率の増加に伴い減少を示す。もし, 100%の森林率を仮定すると, 気温上昇率は, 2.3℃/100年の上昇率となる。

## 5. その他の気象要素の変化

対象とする気象要素の集計結果を用いて, 1983年から2012年までの変化グラフを作成した。

相関係数  $R$  が, 統計上意味があるのは, データが30年間では自由度29の  $t$  分布を仮定して有意水準  $\alpha = 0.05$  とすると変化率  $R > 0.36$  (決定係数  $R^2 > 0.13$ ), すなわち  $|t| > 2.045$  で有意である。ここで, 検定は, 両側検定とする。以下では, これらの値を判断の基準とする。

### (1) 降水量の変化

気温が上昇すれば, 大気に含まれる飽和水蒸気量が増加するため直接的に降水量に関係する。降水量の経年変化を見てみよう。図11 (a) は800前後の全観測地点で平均した

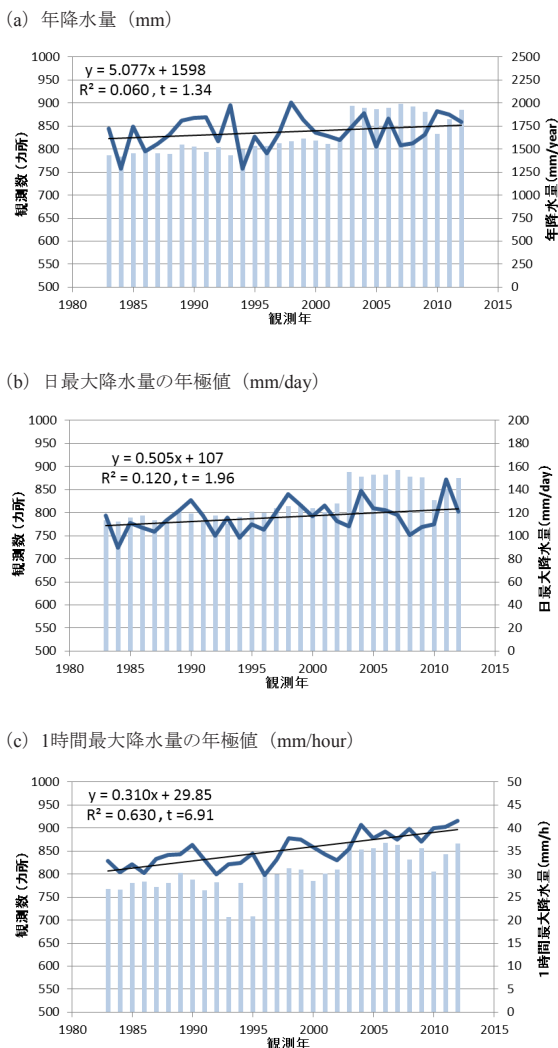


図11 降水量および降水強度の経年変化 (折れ線グラフ) と観測数 (棒グラフ)

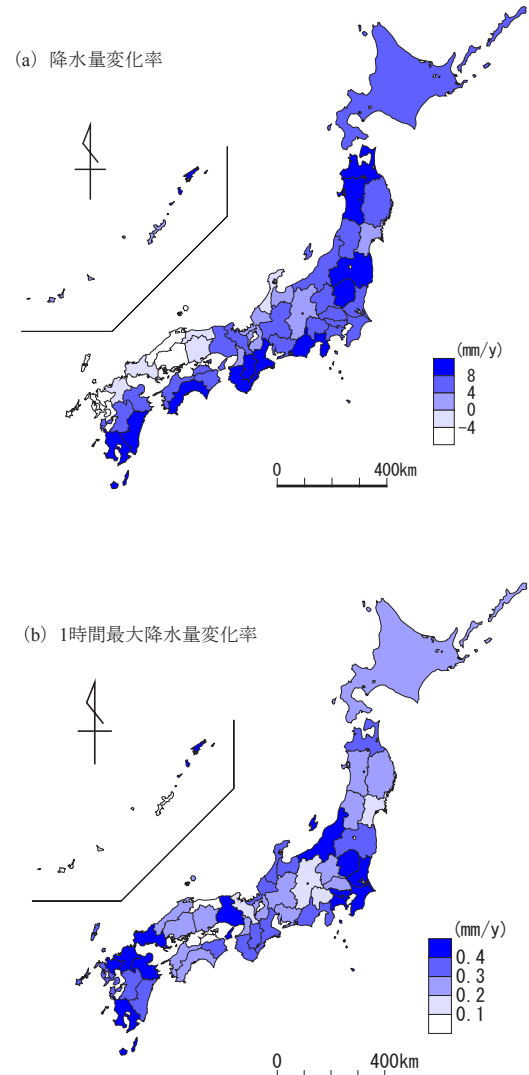


図12 降水量の都道府県別変化率 (mm/year)

平均年降水量の経年変化である。年降水量の増加率  $508 \pm 379 \text{ mm}/100$ 年とやや増加傾向が見えるものの変動が大きいこともあり,  $t = 1.34$ と有意とは言えない。同様に, 図11 (b) の平均日最大降水量の年極値についても, 増加率は  $51 \pm 26 \text{ mm}/100$ 年と増加傾向は見られるものの,  $t = 1.96$ で変化は有意ではない。ところが, 平均1時間最大降水量の年極値の変化率は  $t = 6.91$ と有意な大きさであり図11 (c) に示すように, 各観測点の1時間最大降水量の年極値は  $31 \pm 5 \text{ mm}/100$ 年の割合で強まっている。温暖化に伴って短時間降水量が増加している。

また, 都道府県ごとの降水量の変化率の分布を図12に示した。年降水量の増加率 (図12 (a)) では, 鹿児島, 宮崎, 高知, 和歌山, 奈良, 三重, 静岡などの太平洋沿岸の県や栃木, 福島, 秋田, 青森などで  $8 \text{ mm}/\text{y}$  以上の増大を示している。また1時間最大降水量の増加率 (図12 (b)) では, 九州北部や山口, 東京, 茨城, 神奈川, 千葉など関東の都市圏などで  $0.4 \text{ mm}/\text{y}$  以上と大きくなっている。

降水量は台風や梅雨前線, 低気圧の影響などの確率的な

要素が大きく、ある地域に集中豪雨が一度でも発生すると統計的に大きな影響を与えやすい。特に、太平洋沿岸部では台風時の降水量の多寡が大きく影響する。北海道など北日本での降水量の増大は、温暖化の影響をうかがわせる。1時間最大降水量の増大は、集中豪雨以外に夏の積乱雲の発達との関係が予想できる。

(2) 風速

風速は強くなる傾向を示している（図13）。しかし、風速は周辺の環境によって影響されやすい。例えば、八代の風速計は2010年に計測高度が6.5mだったものが10mの高さに変更され、変更前の2009年の年平均風速は1.0m/sだったが、変更後の2011年は1.4m/sとなった。

この様に全国の風速の強まりは、風速計の屋上移転や高さの変更や周辺の樹木の剪定など、気象庁により進められた観測地点周辺環境の改善により、強い風を受けやすくなったのが最大の理由と考えられる。

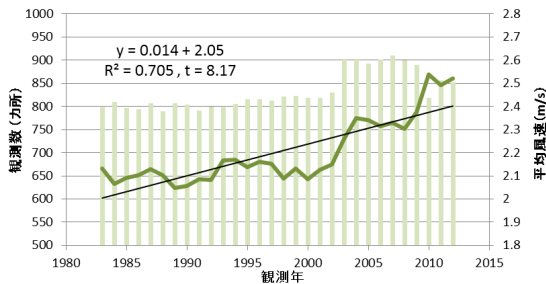


図13 平均風速 (m/s) の経年変化 (折れ線グラフ) と観測数 (棒グラフ)

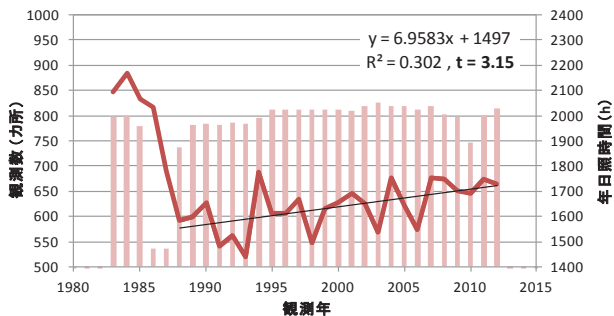


図14 日照時間 (hour) の経年変化 (折れ線グラフ) と観測数 (棒グラフ)

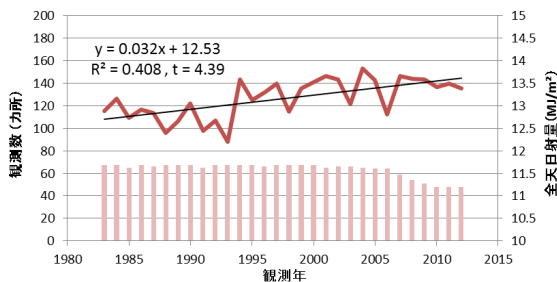
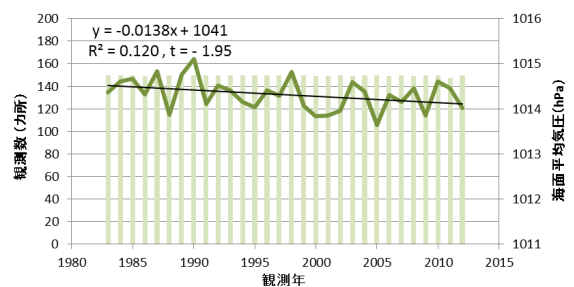


図15 全天日射量 (MJ/m²) の経年変化 (折れ線グラフ) と観測数 (棒グラフ)

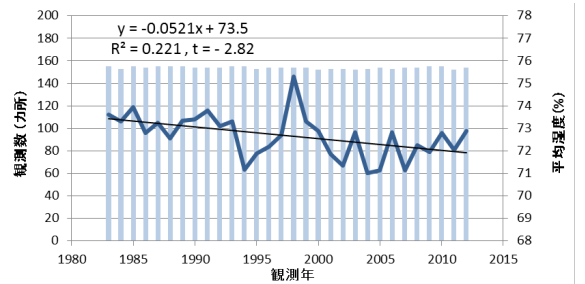
(3) 日照時間・全天日射量

30年間の日照時間は、1984年前後で大きな値を持つため全体としては減少しているようにも見える（図14）。観測数は1986-87年に機器変更工事のため極端に少なく、図を詳細に見ると、1986年を境に日照時間は大きく異なる。1985年の10月から測器が太陽電池式日照計（旧型）から太陽電池式日照計（新型）に変更されたのである。測器の変更は2005年にもあり、次は回転式日照計に変更された。測器変更はあるが、観測データは補正されたものを使用している。1987年までのデータには信頼性がないため、観測の安定した1988年からの25年間で回帰直線を求めた。日照時間は、7.0±2.2 h/年と増加しており、t=3.15の有意な増加傾向を持っている。全天日射量についても、増加率3.2±0.7MJ/m²/100年、t=3.15と増加傾向にある（図15）。地球温暖化の主な原因は二酸化炭素の増加と考えられているが、直接昇温と関係する日照時間や全天日射量の増加も日本における温暖化の一因となっている可能性がある。6節で示すように全天日射量と平均気温にはR=0.494と相関がある。

(a) 平均気圧 (hPa)



(b) 相対湿度 (%)



(c) 水蒸気圧 (hPa)

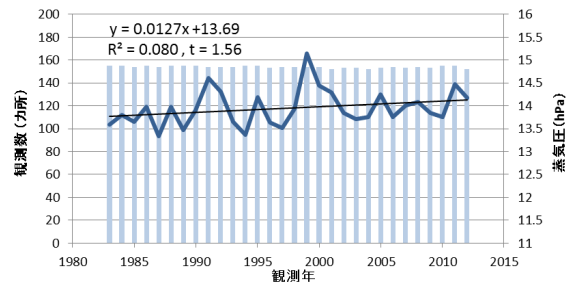


図16 気圧、相対湿度、水蒸気圧の経年変化 (折れ線グラフ) と観測数 (棒グラフ)

#### (4) 海面平均気圧・蒸気圧・湿度

海面平均気圧 (図16 (a)) は、 $-1.4 \pm 0.7$  hPa/100年、 $t = -1.95$ とやや減少傾向にある。相対湿度 (図16b) もまた、 $-5.2 \pm 1.9$  %/100年、 $t = -2.82$ と下降傾向にある。水蒸気圧 (図16c) は、 $1.3 \pm 0.8$  hPa/100年、 $t = 1.56$ とやや増加しているが、有意ではない。温暖化の結果、飽和水蒸気圧は増大するが、大気中の水蒸気圧は、やや増加しているものの相対湿度は低下し乾燥傾向にある。

以上をまとめて、表2に示す。表では、回帰直線の寄与率 (重決定)、回帰直線の標準誤差、1年当たりの変化率 (係数)、係数の標準誤差、t値および変化傾向の判定を示している。すでに本文でも示したように、上昇傾向 (▲) が見えるものは、年平均気温、日最高気温、日最低気温、年最高気温、1時間最大降水量、日照時間 (25年)、全天日射量などである。また、減少傾向 (▼) が見えるのは、相対湿度のみである。

因果関係からいえば、日照時間、日射量が増加すると気温は上昇するから、それらの増加傾向は、気温上昇の原因になっている可能性がある。また、気温が上昇すると飽和水蒸気圧が増加するから水蒸気圧もやや上昇するが、相対湿度は下がっている。また、日本域の大気最下層の気温上昇は、大気が軽くなることから気圧はやや下がっているとも考えることもできる。

表2 各気象変数の変化傾向一覧

観測量	回帰統計		X			判定
	重決定 R <sup>2</sup>	標準誤差	係数	標準誤差	t	
年降水量 (mm/y)	0.06	180	5.08	3.79	1.34	—
日最大降水量 (mm/d)	0.12	12.2	0.505	0.258	1.96	△
1時間最大降水量 (mm/h)	0.63	2.12	0.310	0.045	6.91	▲
年平均気温 (°C)	0.28	0.44	0.030	0.009	3.30	▲
日最高気温 (°C)	0.44	0.45	0.045	0.010	4.70	▲
日最低気温 (°C)	0.21	0.44	0.026	0.009	2.76	▲
年最高気温 (°C)	0.11	0.76	0.029	0.016	1.82	△
年最低気温 (°C)	0.20	1.01	0.057	0.021	2.67	▲
年平均風速 (m/s)	0.70	0.08	0.014	0.002	8.17	×
年日照時間 (25年間)	0.30	80	6.96	2.21	3.15	▲
全天日射量 (MJ/m <sup>2</sup> )	0.41	0.34	0.032	0.007	4.39	▲
平均気圧 (hPa)	0.12	0.34	-0.014	0.007	-1.95	▽
相対湿度 (%)	0.22	0.88	-0.052	0.019	-2.82	▼
水蒸気圧 (hPa)	0.08	0.39	0.013	0.008	1.56	△

判定：▲ ( $t \geq 2$ )、△ ( $2 > t \geq 1.5$ )、— ( $1.5 > t > -1.5$ )、▽ ( $-2 < t \leq -1.5$ )、▼ ( $t \leq -2$ )

#### 6. 気象要素間の相関関係

図17に、関係を考慮して  $R > 0.5$  の相関関係を図示した。気象要素は、年降水量、日最大降水量、1時間最大降水量、年平均気温、日最高気温、日最低気温、年最高気温、年最低気温、年平均風速、年日照時間 (三要素観測所での観測は無) と気象官署のみで測定される平均気圧、水蒸気圧、相対湿度、全天日射量の14種類を対象とする。14要素同士の相関を求めたところ相関係数として有意な  $R > 0.4$  のものは91組中36組、0.5以上のものは23組ある。日平均気温、日最高気温、日最低気温などは当然  $R > 0.94$  のお互いに強い相関がある。日射量と日照時間も当然  $R = 0.86$  の相関が

あり、前節で示したように増加傾向を持つ日射量・日照時間は日最高気温と年最高気温を引き上げ、相対湿度を下げていると推測できそうである。また、日最高気温と1時間最大降水量の関係が強く、温暖化により上昇を続けている日最高気温は積乱雲を発達させる要因として働き地域的な豪雨との関係性が窺える。

その他の異常気象との関係は、文献 [13] を参照してもらいたい。風速については本解析から除外した。

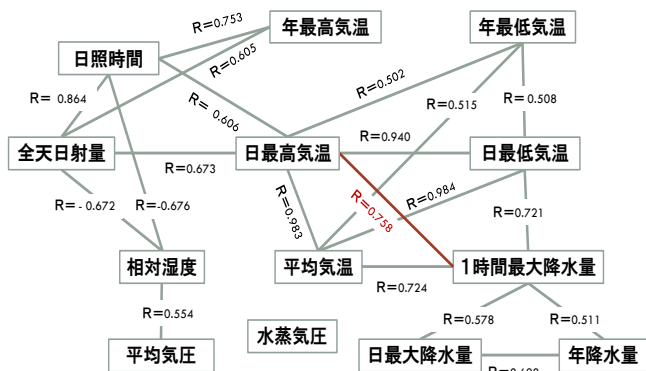


図17 相関係数が0.5以上の主な気象変数間の相関

#### 7. 結論

30年間 (1983年~2012年) のアメダス観測データなどを用いて、最近の日本における温暖化に伴う気温上昇率の変化や気候変動、気象要素同士の相関について解析を行ったところ、次のようなことが分かった。

- 日本全国での気温上昇率は平均気温  $3.0 \pm 0.9$  °C/100年、平均日最高気温は  $4.5 \pm 1.0$  °C/100年、平均日最低気温は  $2.6 \pm 0.9$  °C/100年と上昇しており、ヒートアイランドの影響から大都市域の上昇率が高い。また、年最高気温は  $2.9 \pm 1.6$  °C/100年、年最低気温は  $5.7 \pm 2.1$  °C/100年と年極値である最高気温や最低気温も上昇傾向にある。
  - 日本全国での年降水量、日最大降水量、1時間最大降水量は増加傾向を示す。その中で、年降水量、日最大降水量の増加率は有意ではないが、1時間最大降水量は有意な増加傾向を示している。1時間最大降水量は  $31 \pm 5$  mm/100年 (決定係数0.31) と近年強い雨が降る日が多くなっており、特に九州北部や関東の東京、神奈川、千葉などで著しい。また、相関を見ると温暖化との関係があるように思われる。
  - 全天日射量は増加し、25年間の日照時間も増加しているため、これも温暖化の一因になっているのではないかと考えられる。また、湿度が低下し乾燥傾向もみられる。
  - 気象要素同士に相関関係があるものがいくつかあり、全天日射量は平均気温、日最高気温、最高気温と関係し、1時間最大降水量は平均気温、日最高気温、日最低気温と関係しており、年平均気温が高くなるほど1時間最大降水量が増加するという関係が見られる。
- 最後に、注意すべき点として、風速、日照時間、日射量

などは特に周囲の環境が測定値に大きく影響するため、測定機器のメンテナンスや測定値周囲の環境の保持が重要である。また、今回のような、30年というある程度の長期傾向を解析するには、期間内の観測地点の変更や機器の変更・劣化などを考慮してデータの質の吟味も重要である。

## 謝 辞

本論文の内容の一部は、「日本気象学会九州支部だより」<sup>14)</sup>に投稿しました。その中では、集計方法の違いにより本論文と同期間から推定した平均気温変化率を $4.2 \pm 0.9^\circ\text{C}/100$ 年と見積もっていましたが、観測地点を厳選することにより $3.0 \pm 0.9^\circ\text{C}/100$ 年と本論文の値に訂正します。本研究の遂行に際して、気象庁ならびに福岡管区気象台の皆様からは貴重なご指摘とご意見をいただきました。ここに、感謝申し上げます。

また、本論文に対して匿名の査読者からの、貴重なご意見をいただきました。合わせて感謝申し上げます。

(平成25年9月25日受付)

(平成25年12月3日受理)

## 参考文献

- 1) 気象庁, 平成25年(2013年)夏の日本の極端な天候について～異常気象分析検討会の分析結果の概要～, p9 (2013)  
(<http://www.jma.go.jp/jma/press/1309/02d/extreme20130902.pdf>)
- 2) IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) : “Climate Change 2007”, Cambridge University Press, Cambridge, 996pp (2007)
- 3) 気象庁, 気象統計情報, 世界の年平均気温 ([http://www.data.kishou.go.jp/climate/cpdinfo/temp/an\\_wld.html](http://www.data.kishou.go.jp/climate/cpdinfo/temp/an_wld.html))
- 4) 気象庁, 気象統計情報, 日本の気候変化 ([http://www.data.kishou.go.jp/obs-env/portal/chishiki\\_ondanka/p08.html](http://www.data.kishou.go.jp/obs-env/portal/chishiki_ondanka/p08.html))
- 5) 気象庁, 気象統計情報, 日本の気候変化の予測 ([http://www.data.kishou.go.jp/obs-env/portal/chishiki\\_ondanka/p12.html](http://www.data.kishou.go.jp/obs-env/portal/chishiki_ondanka/p12.html))
- 6) 大河内康正・水本剛, アメダスで見た最近の日本の温暖化, 熊本高等専門学校研究紀要, 1号, 31-38 (2009).
- 7) 大河内康正・湯ノ口哲平, 日本の都市の温暖化と地球温暖化, 熊本高等専門学校研究紀要, 2号, 1-8 (2010).
- 8) 大河内康正・池崎浩介, 内田宙斗, 都道府県別に見た最近30年の日本の温暖化, 熊本高等専門学校研究紀要, 3号, 36-42 (2011).
- 9) 大河内康正・杉田卓也, 近年の日本の平均降水量の経年変化, 熊本高等専門学校研究紀要, 4号, 41-48 (2012).
- 10) 気象庁, 気象統計情報, 過去のデータ検索. (<http://www.jma.go.jp>) (2013).
- 11) 山本桜子, Excel 2007 VBA 逆引きクイックリファレンス, (2007), 毎日コミュニケーションズ.
- 12) 谷謙二: フリー GIS ソフト MANDARA パーフェクトマスター, 古今書院, 330 (2012).
- 13) 藤部文昭, 都市の気候変動と異常気象, 朝倉書店, p 126, (2012).
- 14) 大河内康正・伊藤美樹: 最近のアメダスデータなどの解析から見えるもの, 日本気象学会九州支部だより, 118, 8-11 (2013).