

気温の海拔高度減率グラフと気温図による アメリカと日本の気候の地域特性評価

草 薙 浩*

1. はじめに

アメリカ合衆国の本土は南北約2000 km, 東西約4000 kmの横長の形をした大陸である。一方, 日本は南北方向がアメリカ本土に匹敵する約2000 kmに及ぶ列島状の島国である。アメリカ本土の面積は日本の25倍もあり, 主に東西方向の大きさの差に由来する。もちろん, これらの国土の違いはケッペンの気候区分に反映されている。日本の殆どが, 温暖湿潤気候 (Cfa) という1つのケッペン気候区に属しているのに対して, アメリカ本土は大きく分けても, 夏涼冷帯湿潤気候 (Dfb)・夏暖冷帯湿潤気候 (Dfa)・温暖湿潤気候 (Cfa)・ステップ気候 (Bs)・砂漠気候 (Bw)・西岸海洋気候 (Cfb)・地中海気候 (Cs) の7つの気候区に属している。

この広大なアメリカ本土に関する気候の地域特性の研究では, さまざまな視点からの報告がなされている。気温 (Willmott and Matsuura 1995; Richardson *et al.* 2004; Lauritsen and Rogers 2012), 気温と植生 (Richardson *et al.* 2004; Daly *et al.* 2012), 降水 (Di Luzio *et al.* 2008; Bosilovich 2013), 竜巻 (Brooks *et al.* 2003; Ashley 2007; Fuhrmann *et al.* 2014), ハリケーン (LaRow 2012), 吹雪 (Gay and Davis 1993; Changnon *et al.* 2006) に関するものなど多岐にわたっている。

重回帰分析法を用いて, 海拔高度による気温減率を扱った研究も多く見られる。しかし, これらの報告は, 全てアメリカ本土を予め分割した地域についての気温減率を扱っている (Ollinger *et al.* 1995; Dodson and Marks 1997; Blandford *et al.* 2008; Huang

et al. 2008; Minder *et al.* 2010)。広大なアメリカ本土を1つの回帰対象にした気温減率グラフに基づいて地域分けを試みた研究はない。

本報告では, アメリカ本土と日本を, それぞれ1つの対象にし, 年平均気温について緯度と海拔高度の2つの説明変数を用いる重回帰分析を行った。得られた気温の海拔高度減率を手掛りにして, 広大なアメリカ合衆国本土と列島状の島国日本の気候の地域特性について新たな知見を見出すことを目的としている。

アメリカ本土と日本の地理条件の違いは, 1年間の平年値の日平均気温をグラフ化して示す気温図にも反映していると考えられる。本報告の後半では, 気温図から得られる2つの特性値 (年平均気温と年較差) を用いて, アメリカ本土と日本の気候の地域特性の違いを調べることも目的とした。

2. データと解析方法

2.1 気温データとその地理条件

重回帰分析するために用いた年平均気温は以下の手続きで求めた。

アメリカ本土の年平均気温を計算する元になる日気温データは, 米国海洋大気局 (National Oceanic and Atmospheric Administration: NOAA) の下部組織である米国気候データセンター (National Climatic Data Center: NCDC) が提供する気象データベース: NCDC Climate Data Online (<http://www7.ncdc.noaa.gov/CDO/cdo#TOP>) から入手した。各観測地点の30年間 (1981-2010年) の日気温データを30年の統計期間で算術平均して求めた1年間 (365日) の値を, 9日間移動平均を3回繰り返すKZフィルタを用いた日別平滑平年値の算出方法 (気象庁 2011) に従って日平均気温の平年値を計算した。年平均気温は, 1年間 (365日) の日平均気温の平年値の算術平

* Hiroshi KUSANAGI, 京都ウェザー研究会。

wrqgw841@yahoo.co.jp

© 2015 日本気象学会

均により求めた。

NCDC の日気温データには欠測または資料不足値の年がある場合も多くあるので、その場合は、欠損年を除いて計算を行った。アメリカ本土における673観測地点の欠損年を除いた平均の日気温データ充足率は、82.3% (=9015日/10957日×100) であった。

アメリカ本土673観測地点の緯度経度高度の地理データは、Daily Climate Weather Data Statistics のウェブサイト (<http://geodata.us/weather/>) から入手した。

日本の日平均気温の平年値データ (1981-2010年) と観測地点の地理データは、気象庁の過去の気象データ検索サイト (<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>) の都府県・地方の選択画面を利用して得た。気象官署及びアメダスのデータから、各気象観測地点の標高と緯度経度を確認しながら標高の高い地点を多く、かつ全国均一に覆うように選定して、必要な観測地点数の日平均気温の平年値データをダウンロードした。アメリカ本土の観測地点数 (673地点) との数のバランスも考慮して263観測地点を選定した。富士山に次ぐ海拔高度1945 m の剣山の日平均気温の平年値は、最新のデータがないため、観測期間1969-1998年のデータ (<http://shumiyama.web.fc2.com/kisho/turugisan-kisho.html>) を用いた。アメリカ本土の場合と同じく、年平均気温は1年間 (365日) の日平均気温の平年値の算術平均により求めた。

2.2 気温の重回帰式

観測気温データを目的変数に、科学的因果関係の明らかな緯度と高度を説明変数にとる重回帰分析法を用いて気温の重回帰式を計算した。

観測地点 i の観測気温 (年平均気温) $y_o(i)$ 、緯度 $x_l(i)$ 、高度 $x_h(i)$ 、とすると、予測気温 (年平均気温) $y_c(i)$ は(1)式の重回帰式で示される。

$$y_c(i) = y_o(i) - \epsilon(i) = a x_l(i) + b x_h(i) + c \quad (1)$$

但し、 a : 緯度係数、 b : 高度係数、 c : 定数、

$\epsilon(i)$: 重回帰誤差

第1項は年平均気温の緯度成分、第2項は高度成分、第3項は緯度と高度に依存しない定数である。

3. 気温の海拔高度減率グラフ

3.1 海拔高度減率指標の計算

アメリカ本土は673個の観測気温、日本は263個の観測気温を用いて、それぞれ重回帰分析した結果を第1表に示す。

決定係数 R^2 は、日本 ($R^2=0.963$) と比べアメリカ ($R^2=0.853$) は少し小さいものの、緯度と高度の2説明変数でどちらも満足すべき結果が得られている。アメリカでは、1度北上すると気温が 0.74°C 、100 m 登ると気温が 0.25°C 低くなる。一方、日本では、1度北上すると 0.89°C 、100 m 登ると 0.58°C 気温が低くなる。アメリカと日本の間に緯度による気温減率には大きな差はないが、高度による気温減率は2倍以上の差がある。

自由 (環境) 大気の高さによる日平均の気温減率は、 $0.65^\circ\text{C}/100\text{ m}$ の値である (Lydolph 1985; Goodale *et al.* 1998; American Meteorological Society 2012)。実際に高地の気象観測地で測定される高さによる日平均の気温減率は、地理的地形的条件によって、また、季節によっても大きく変化する (Ollinger *et al.* 1995; Goodale *et al.* 1998; Rolland 2003; Burt and Holden 2010; Chiu *et al.* 2014)。それゆえ、高校の地理教科書に記載されている海拔高度による気温減率の値 $0.5\sim 0.6^\circ\text{C}/100\text{ m}$ を基準にして以下の考察を行った。

日本の高度減率 $0.58^\circ\text{C}/100\text{ m}$ は、教科書の気温減率の範囲内で妥当な値である。一方、アメリカ本土の高度減率 $0.25^\circ\text{C}/100\text{ m}$ は大変小さく教科書の気温減率の半分以下である。この原因は、アメリカ本土の地理や地形に関係すると考えられる。広大な面積を持つこと、さらに、西経100度以西がシエラネバダ山脈、グレートベースン、ロッキー山脈など山脈と盆地から

第1表 重回帰分析結果。

	緯度減率 -a ($^\circ\text{C}/\text{度}$)	高度減率 -b ($^\circ\text{C}/100\text{m}$)	定数 c ($^\circ\text{C}$)	決定係数 R^2 (-)	観測地点 (個)	平均気温 ($^\circ\text{C}$)	平均高度 (m)	平均緯度 (度)
アメリカ	0.74	0.25	43.0	0.853	673	13.1	477	38.9
日本	0.89	0.58	46.4	0.963	263	13.4	157	35.8

なる高地地形であり、以東が中央平原や海岸平野の主に平野地域であることに起因するのではないかと考えた。そこで、海拔高度による気温減率を手掛りにして、アメリカ本土と日本の気候の地域特性について検討した。

3.2 海拔高度減率指標による気候地域特性に関する一考察

重回帰分析の結果を活用すれば、観測気温を緯度成分と高度成分に分けて考察することができる。たとえば、回帰誤差を含めた高度成分 $y_h(i)$ は、観測気温 $y_o(i)$ から(1)式の第1項の緯度成分 $a x_l(i)$ と第3項の定数 c を引き去ると求められる。それゆえ、緯度成分と定数項を除いた成分（仮に高度成分） $y_h(i)$ は、(2)式で与えられる。

$$y_h(i) = b x_h(i) + \varepsilon(i) = y_o(i) - a x_l(i) - c \quad (2)$$

また、比較のため高度のみを説明変数にした単回帰分析を(3)式を用いて行った。

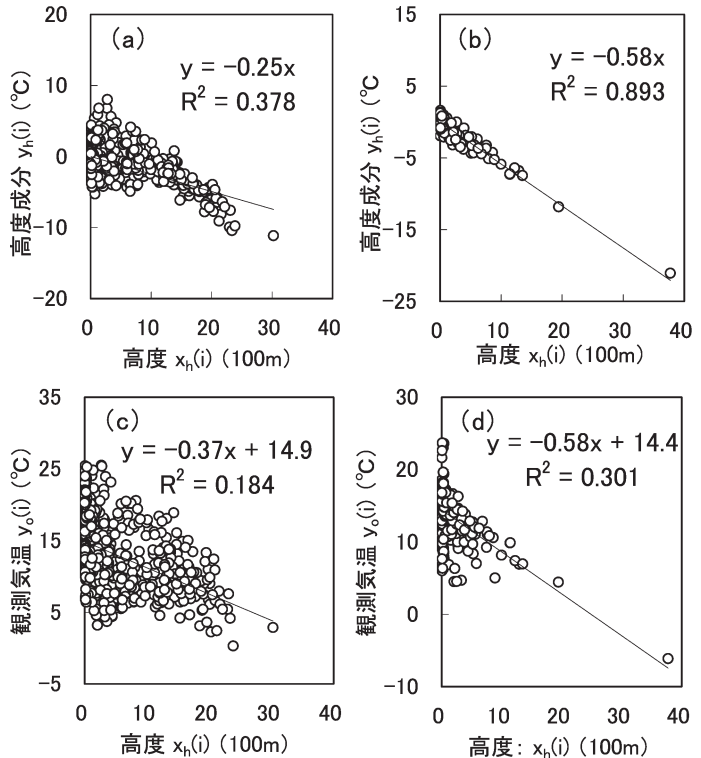
$$y_o(i) = b' x_h(i) + c' + \varepsilon_h(i) \quad (3)$$

但し、 b' ：高度係数、 c' ：定数、 $\varepsilon_h(i)$ ：単回帰誤差

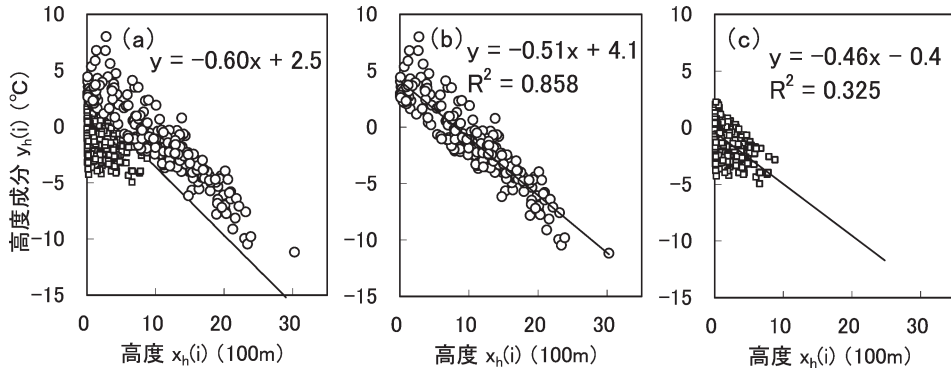
アメリカ本土と日本について、(2)式を用いて計算した高度成分 $y_h(i)$ を、高度 $x_h(i)$ に対してプロットした気温の海拔高度減率グラフを第1図aとbの散布図で示す。比較のため、(3)式の高度 $x_h(i)$ を説明変数にとる単回帰式で分析した観測気温 $y_o(i)$ の単回帰グラフを第1図cとdに示す。(3)式の単回帰誤差 $\varepsilon_h(i)$ と比べて、(2)式の重回帰誤差 $\varepsilon(i)$ の格段に小さくなっていることが各グラフの回帰直線からのデータ点の乖離の様子からわかる（決定係数 R^2 に反映している）。

重回帰分析の結果を使って計算した高度成分について、日本の場合、高度減率 $0.58^\circ\text{C}/100\text{m}$ の値と第1図b中に示す決定係数 $R^2=0.893$ の値から満足すべき結果が得られている。ところが、第1図bの日本

では、剣山（1945 m）と富士山（3775 m）を除くと全て高度1350 m以下のデータなので、突出して標高の高いこの2つが回帰係数と決定係数に影響を与えることが考えられるので、それについて調べた。剣山と富士山を除いて重回帰計算すると、高度減率は $0.58^\circ\text{C}/100\text{m}$ から $0.60^\circ\text{C}/100\text{m}$ に大きくなり、決定係数は 0.893 から 0.812 に小さくなりかなり影響を与えることがわかった。しかし、気温の高度減率 $0.60^\circ\text{C}/100\text{m}$ （大気の標準的な値に近い）、決定係数 0.812 は、アメリカ本土のこれらの値と比較して満足できると判断して以下の考察を進めた。一方、アメリカ本土の高度成分では、高度減率 $0.25^\circ\text{C}/100\text{m}$ と決定係数 $R^2=0.378$ の値とも満足すべき結果とは言えない。高度減率が $0.25^\circ\text{C}/100\text{m}$ と異常に小さいのは、アメリカ本土のデータ点の分布に原因があると考えられる。第1図bの日本では、データ点の分布が回帰直線の上下でほぼ対称性を保っている（回帰誤差が近似的に正規分布する）のに対して、第1図aでは非対称で



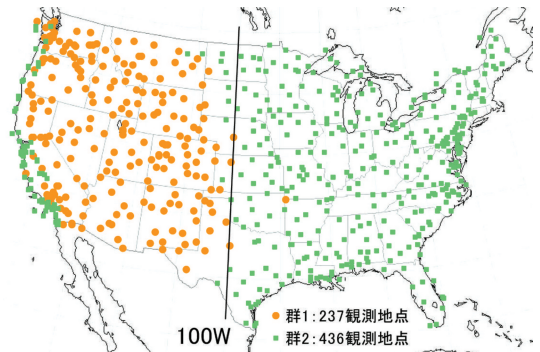
第1図 気温の海拔高度減率グラフ。(a) アメリカ本土の高度減率グラフ、(b) 日本の高度減率グラフ、(c) アメリカ本土の単回帰グラフ、(d) 日本の単回帰グラフ。



第2図 アメリカ本土の海拔高度減率グラフの2群化。(a) 2群化 (○印と□印) グラフ, (b) 群1 (○印237観測地点) 単独グラフ, (c) 群2 (□印436観測地点) 単独グラフ。

ある。よく見ると、データ点の分布の一部には、回帰直線の勾配 $-0.25^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ と比べて、第1図bの勾配 $-0.58^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ に近い大きな勾配を持つ分布成分があると見ることができ、この大きな勾配の分布成分の左下に別の分布成分が重なっているため非対称になっている(回帰誤差も正規分布していない)と思われる。そこで、第1図aは、2種類のデータ点成分が重なって分布していると解釈した。第1図aの縦軸を1.6倍に拡大した第2図a中に直線 $y = -0.60x + 2.5$ を仮に設定して、その上側に分布する高温のデータ点成分を群1 (○印)、下側に分布する低温のデータ点成分を群2 (□印)として分けてみた。(2)式を用いて計算した高温の群1成分 (○印237観測地点) 単独を第2図bに、第2図cには低温の群2成分 (□印436観測地点) 単独をグラフ化して示す。すると、第2図bに示す回帰直線から群1成分 (237地点) の高度減率は $0.51^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ となり、第2図cに示す回帰直線から群2成分 (436地点) の高度減率は $0.46^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ に大きくなり先ほどの大気の標準的な値に近づくことがわかった。

この2種類の群に属する観測地点を地図上で印分けして示すと、西経100度を境にして高温の群1 (橙色の●印) と低温の群2 (緑色の■印) の観測地点が殆ど混じり合うことなく東西に分かれるとともに西部地域の太平洋岸にも■印のあることが示された(第3図)。すなわち、観測気温の高度成分によって、アメリカ本土が高温の西部地域 (237地点) と低温の東部地域 (356地点) 及び太平洋岸地域 (80地点) の2種類の気候地域に分けられることが明らかになった。観測地点が殆ど混じり合わなくて2地域に分かれる第3

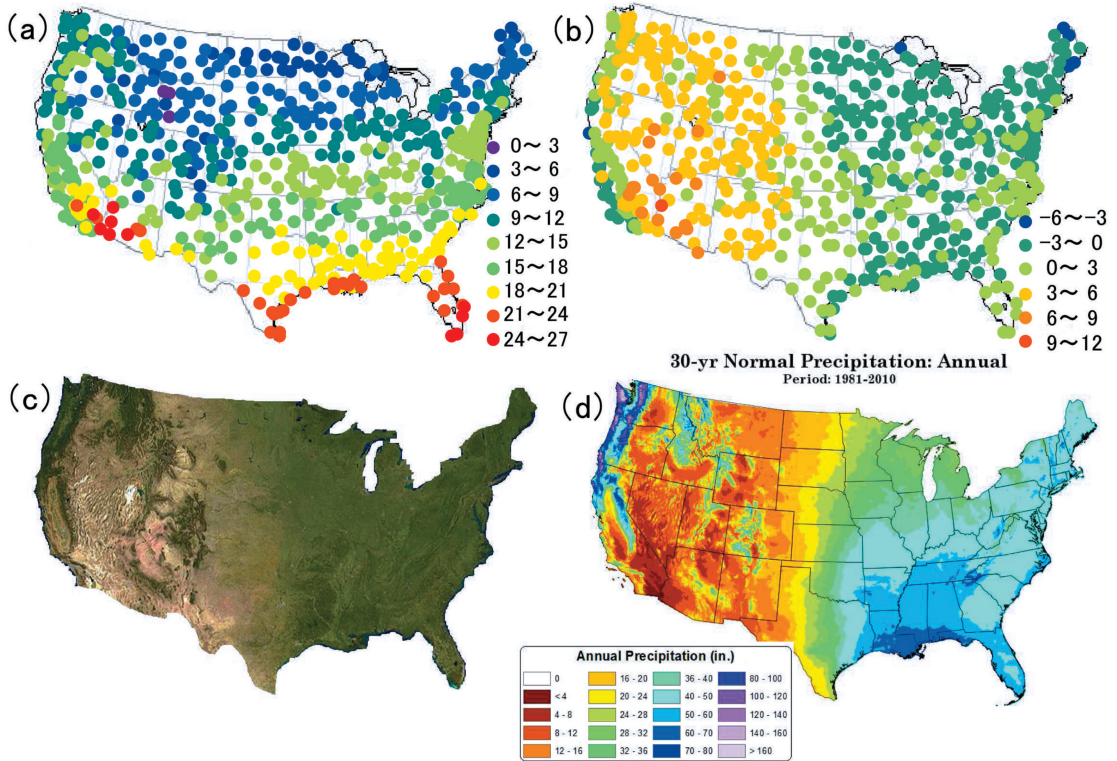


第3図 海拔高度減率グラフの2群化によるアメリカ本土の地域分け。西経100度を境に、群1 (橙色の●印) の西部地域 (237観測地点) と群2 (緑色の■印) の東部地域 (356観測地点) 及び太平洋岸 (80地点) の2地域に分かれる。

注記：北部のノースダコタとサウスダコタの2州では州の境界 (西経105度付近) が群1と群2の境界にほぼ一致している。

図は、海拔高度減率グラフ (第2図a) を2群化するため仮に引いた直線の妥当性の根拠を与えている。アメリカ本土の気候が西経100度を境にして東西2つの地域に分かれることは周知で、地理教科書には、西経100度の東側は多雨地域、西側は年間降水量500 mm以下の少雨地域の2地域に分けられると記述されている。これを示すアメリカ本土の最新の精密な降水量等高線地図がPRISMホームページ (<http://www.prism.oregonstate.edu/>) に掲載されている。

第2図bとcに示す散布図から、高温の群1と低温の群2に属する全ての観測地点について平均した海拔高度0 mでの気温を計算することができる。散布



第4図 アメリカ本土の気温地図、衛星写真、降水量地図の比較。(a) 673観測地点の年平均気温(°C)，(b) 673観測地点の年平均気温の $y_{h=0}(i)$ 成分(°C)，(c) Google Earth 衛星写真(ナチュラルカラー画像)，(d) 降水量地図(PRISM)。

図の回帰直線の縦軸切片から、高温の群1と低温の群2の海拔高度0mでの気温は4.1°C(237地点平均)と-0.4°C(436地点平均)とわかる。それゆえ、高度0mでは西部地域が東部地域より4.5°C(=4.1-(-0.4))高温と計算される。この気温差が、西経100度を境にしてアメリカ本土を東西2つの気候地域に分けさせる原因になっている。

第4図aには、アメリカ本土673観測地点の観測気温 $y_o(i)$ を3°C毎に色分けして示す。673観測地点についての高度成分 $y_h(i)$ を高度0mに内挿した値を $y_{h=0}(i)$ で表すと、 $y_{h=0}(i)$ は第2図bとc中に示す回帰式の高度減率0.51°C/100mと0.46°C/100mの値を用いて計算することができる。この手続きで計算した気温 $y_{h=0}(i)$ は、第2図bとcの各データ点を図中の直線に平行に高度0mに内挿した気温に相当する。 $y_{h=0}(i)$ を3°C毎に色分けして第4図bに示す。 $y_{h=0}(i)$ は、アメリカ本土の673観測地点について、緯度補正した海拔0mの年平均気温を示すと見なせる。

比較のため、アメリカ本土のGoogle Earth航空写真と先ほどのPRISMの降水量地図を、第4図cとdに示す。第4図aの観測気温の図は、南北方向の気温差で地域分けされるが、第4図bの海拔0mの気温の図は、東西方向に地域分けされている。第4図bの低気温地域(黄緑色・緑色・青色)と高気温地域(黄色・オレンジ色・橙色)の分布は、第4図cの航空写真の緑色と茶色の地域の分布に比較的良好に似ており、東西に分かれる境界線の様子は降水量地図にも似ているが、より航空写真に近い。航空写真と降水量地図を参考にして考察すると、気温の海拔高度減率グラフで2群化される西部地域と東部地域の気候特性は、両地域のアルベドに影響を与える植生の差、西経100度を境にした年間降水量の差など気温に作用する多くの気候要素を総合的に反映していると考えられる。さらに、第4図bの結果とケッペンの気候区分の関係について考察すると、アメリカ本土は大きく分けても7つのケッペン気候区に属しているが、気温の海拔高

度減率グラフで区分けされるアメリカ本土は、東西方向に大きく2つの地域に分かれる。さらに、ワシントン州からカリフォルニア州に至るケッペンの西岸海洋気候 (Cfb)・地中海気候 (Cs) 地域が、東部地域の夏涼冷帯湿潤気候 (Dfb)・夏暖冷帯湿潤気候 (Dfa)・温暖湿潤気候 (Cfa) 地域と同じ地域に仕分けされることが示された。その結果、海拔高度減率グラフで区分けされるアメリカ本土は、ケッペン気候区の区分けより単純な気候地域特性を有することが明らかになった。

アメリカ本土を予め分割した狭い地域ごとに小さな回帰誤差を求める手法を取らなくても、本土を1つの対象にした気温減率グラフの回帰誤差を小さくする本研究の手続きによって、アメリカ本土が意味のある気候地域に分けることができる可能性が明らかになった。

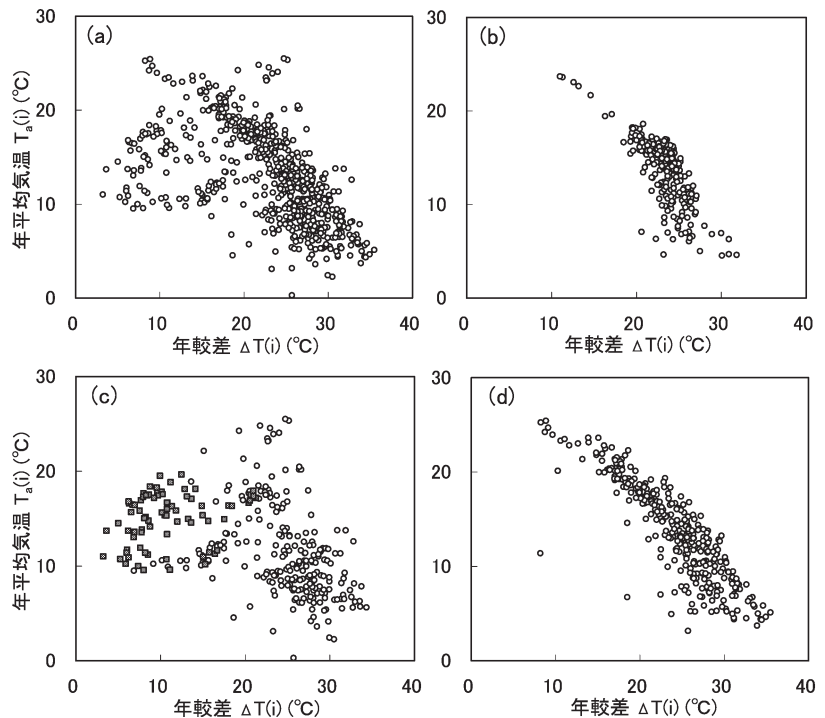
次に、日本の海拔高度減率グラフ第1図bを見る限り、アメリカ本土のように2群化すべきでなく、日本については、群は1つしかないと判断される。それゆえ、アメリカ本土に匹敵する南北方向に約2000 kmの日本では、気温の海拔高度減率グラフの解析からは大きな地域差は示されることが明らかになった。この結果は、1. はじめに、で触れたように、日本の殆どが、温暖湿潤気候 (Cfa) (北海道の一部を除く) という1つのケッペン気候区に属していることと関係すると考えられる。

4. 気温図を用いた米国の気候区分に関する一考察

気温図から得られる2つの特性値 (年平均気温と年較差) を用いて、アメリカ本土と日本の気候の地域特性を調べられないか、その可能性を検討した。地球上では緯度が高くなると年平均気温が低くなり年較差が

大きくなるので、両者は逆比例の関係になるはずである。一方、観測地点の置かれた地域の地理的地形的な条件で、この関係は変化すると考えられる。

第5図aとbは、アメリカ本土673観測地点と日本263観測地点について、縦軸に年平均気温 $T_a(i)$ 、横軸に年較差 $\Delta T(i)$ をプロットして両者の相関を調べた散布図である。第5図bの日本では、年平均気温と年較差に明確な負相関の関係が見られ緯度の効果ははっきり出ている。一方、アメリカ本土の第5図aでは、グラフ全体に広く分布し、日本とは一見して大きな違いがあるが、よく見るとデータ点密度の高いところの分布は、日本と似ている。そこで、前節の結果を参考にして仮に、アメリカ本土の673観測地点について、西経100度を境にして地理的に正確に東西2地域に分け、以西地域 (322地点) と以东地域 (351地点) の散布図を別々に第5図cとdに示す。すると、第5図dの以东地域の散布図では、年平均気温と年較差に日本と同様な負相関の関係が見られ緯度の効果ははっきり出ている。年平均気温と年較差の相関は強



第5図 年平均気温と年較差の散布図グラフ。(a) アメリカ本土673観測地点、(b) 日本263観測地点、(c) アメリカ本土の西経100度以西地域322観測地点 (第3図の太平洋沿岸80地点を緑の■印で示す)、(d) アメリカ本土の西経100度以东地域351観測地点。

くて、日本の相関係数 $r = -0.755$ に対して以東地域の相関係数は、日本より大きく、 $r = -0.875$ である。日本の約11倍の広さの以東地域の緯度効果がよりはっきりしている。西経100度以東地域は、地形的にはグレートプレーンズ、ミシシッピ川の流れる中央平原、その東側にアパラチア山脈があるものの、大西洋岸は幅広い海岸平野など主に広大な平野からなることが緯度の効果がはっきりでることに関係していると考えられる。さらに、南北約2000 km に渡って温暖湿潤気候 (Cfa)・夏暖冷帯湿潤気候 (Dfa)・夏涼冷帯湿潤気候 (Dfb) のケッペン気候区を有する西経100度以東地域の散布図が、同じく南北約2000 km に渡るほぼ全域が温暖湿潤気候 (Cfa) の日本列島とよく似た散布図を示すことが明らかになった。

一方、第5図cの以西地域では、データ点は広範囲に散漫に分布していて年平均気温と年較差との間には、緯度による相関関係が小さくなっている ($r = -0.428$)。これは、以西地域の特徴的な地理的地形的条件によって緯度による関係が変化しているためと考察した。西経100度以西は、北西部の森林地帯、セントラルバレー、砂漠地帯、シエラネバダ山脈、グレートベースン、高山の連なるロッキー山脈など森林、平地、砂漠、盆地、山脈などからなる多様な地形の地域である。これらの地形が気温図の多様性にも反映していると考えられる。さらに、第5図cの太平洋岸80地点 (緑色の■印) のデータ点の多くは、横軸 (年較差) の値の小さな位置に分布し、同じ年平均気温の割には年較差の小さいことを示している。これは、太平洋岸の地域が、ケッペン気候区で、ステップ気候 (Bs)・西岸海洋気候 (Cfb)・地中海気候 (Cs) に属していることと関係があると考えられる。

謝 辞

本調査ノートをまとめるにあたり、編集委員の藤部文昭氏から貴重なコメントとご助言を頂きました。査読者の方からも貴重な意見を頂きました。各位に対して心より御礼申し上げます。

参 考 文 献

American Meteorological Society, 2012: The Atmosphere Aloft Teacher's Guide.
 Ashley, W. S., 2007: Spatial and temporal analysis of tornado fatalities in the United States: 1880-2005. *Wea. Forecasting*, **22**, 1214-1228.

Blandford, T. R., K. S. Humes, B. J. Harshburger, B. C. Moore, V. P. Walden and H. Ye, 2008: Seasonal and synoptic variations in near-surface air temperature lapse rates in a mountainous basin. *J. Appl. Meteor. Climatol.*, **47**, 249-261.
 Bosilovich, M. G., 2013: Regional climate and variability of NASA MERRA and recent reanalyses: U.S. summertime precipitation and temperature. *J. Appl. Meteor. Climatol.*, **52**, 1939-1951.
 Brooks, H. E., C. A. Doswell III and M. P. Kay, 2003: Climatological estimates of local daily tornado probability for the United States. *Wea. Forecasting*, **18**, 626-640.
 Burt, T. P. and J. Holden, 2010: Changing temperature and rainfall gradients in the British Uplands. *Clim. Res.*, **45**, 57-70.
 Changnon, S. A., D. Changnon and T. R. Karl, 2006: Temporal and spatial characteristics of snowstorms in the contiguous United States. *J. Appl. Meteor. Climatol.*, **45**, 1141-1155.
 Chiu, C. A., P. H. Lin and C. Y. Tsai, 2014: Spatio-temporal variation and monsoon effect on the temperature lapse rate of a subtropical island. *Terr. Atmos. Ocean. Sci.*, **25**, 203-217.
 Daly, C., M. P. Widrlechner, M. D. Halbleib, J. I. Smith and W. P. Gibson, 2012: Development of a new USDA plant hardiness zone map for the United States. *J. Appl. Meteor. Climatol.*, **51**, 242-264.
 Di Luzio, M., G. L. Johnson, C. Daly, J. K. Eischeid and J. G. Arnold, 2008: Constructing retrospective gridded daily precipitation and temperature datasets for the conterminous United States. *J. Appl. Meteor. Climatol.*, **47**, 475-497.
 Dodson, R. and D. Marks, 1997: Daily air temperature interpolated at high spatial resolution over a large mountainous region. *Clim. Res.*, **8**, 1-20.
 Fuhrmann, C. M., C. E. Konrad II, M. M. Kovach, J. T. McLeod, W. G. Schmitz and P. G. Dixon, 2014: Ranking of tornado outbreaks across the United States and their climatological characteristics. *Wea. Forecasting*, **29**, 684-701.
 Gay, D. A. and R. E. Davis, 1993: Freezing rain and sleet climatology of the southeastern USA. *Clim. Res.*, **3**, 209-220.
 Goodale, C. L., J. D. Aber and S. V. Ollinger, 1998: Mapping monthly precipitation, temperature, and solar radiation for Ireland with polynomial regression and a digital elevation model. *Clim. Res.*, **10**, 35-49.
 Huang, S., P. M. Rich, R. L. Crabtree, C. S. Potter and P.

- Fu, 2008: Modeling monthly near-surface air temperature from solar radiation and lapse rate: Application over complex terrain in Yellowstone National Park. *Phys. Geogr.*, **29**, 158-178.
- 気象庁, 2011: 気象観測統計の解説. 114-116. <http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/kaisetu/index.html> (2012.5.15閲覧).
- LaRow, T., 2012: An analysis of tropical cyclones impacting the Southeast United States from a regional reanalysis. *Reg. Environ. Change*, **13**, 35-43.
- Lauritsen, R. G. and J. C. Rogers, 2012: U.S. diurnal temperature range variability and regional causal mechanisms, 1901-2002. *J. Climate*, **25**, 7216-7231.
- Lydolph, P. E., 1985: *Weather and Climate*. Totowa, NJ: Rowman and Allanheld, 216pp.
- Minder, J. R., W. M. Philip and J. D. Lundquist, 2010: Surface temperature lapse rates over complex terrain: Lessons from the Cascade Mountains. *J. Geophys. Res.*, **115**, D14122, doi:10.1029/2009JD013493.
- Ollinger, S. V., J. D. Aber, C. A. Federer, G. M. Lovett and J. Ellis, 1995: Modeling Physical and Chemical Climatic Variables across the Northeastern U.S. for a Geographic Information System. U.S. Forest Service General Technical Report NE-191, Radnor, PA.
- Richardson, A. D., X. Lee and A. J. Friedland, 2004: Microclimatology of treeline spruce-fir forests in mountains of the northeastern United States. *Agric. For. Meteorol.*, **125**, 53-66.
- Rolland, C., 2003: Spatial and seasonal variations of air temperature lapse rates in Alpine regions. *J. Climate*, **16**, 1032-1046.
- Willmott, C. J. and K. Matsuura, 1995: Smart interpolation of annually averaged air temperature in the United States. *J. Appl. Meteorol.*, **34**, 2577-2586.
-