

# 中部山岳地域における気象観測の現状とその意義

鈴木 啓 助\*

## Importance of Meteorological Observation in the Japanese Alps Region

Keisuke SUZUKI\*

[Received 10 December, 2012; Accepted 17 March, 2013]

### Abstract

The Japanese Alps collectively refer the Hida Mountains, Kiso Mountains, and Akaishi Mountains, ranging approximately 200 km north to south and 100 km east to west. In terms of span, the Japanese Alps region includes the Ryohaku Mountains to the west and Mt. Fuji, Mt. Yatsugatake, and Mikuni Mountains to the east, making the geographical extent of the region more than 200 km in the east-west direction. The maximum altitude of the Japanese Alps is around 3000 m; however, climatic conditions vary widely because the region lies at the center of Honshu, between the Japan Sea coast and the Pacific coast, and the northern area is known to experience one of the heaviest snowfalls in the world.

It is thought that mountainous areas are particularly sensitive to global-scale environmental changes, such as warming. When attempting to evaluate the effect of a global-scale warming event on regional environmental change in the high-altitude Japanese Alps, we note a lack of high-altitude meteorological observation data. This presents difficulties when evaluating the effects of warming on ecological systems and water resources in mountainous regions.

In this study, we discuss long-term variations of winter temperature, as well as the amount of snowfall and depth of snow cover at twelve observational stations in the Japan Alps region. At eleven sites other than Mt. Fuji, a trend of increasing annual minimum temperature is recognized, which is statistically significant at the 1% significance level. At locations such as Mt. Fuji, which are located at extremely high altitudes, the annual minimum temperature over the last several decades has not been seen to increase or decrease. The trend of decreasing annual cumulative snowfall is statistically significant at the 10% level at Takada, Toyama and Kanazawa stations. At the other eight sites, it is shown that the recent annual cumulative snowfall does not show either an increasing or decreasing trend. The increasing trend of the annual maximum snow depth is statistically significant at the 5% level at Mt. Fuji, whereas a decreasing trend of the annual maximum snow depth is statistically significant at the 10% level at Takada and Kanazawa. At the other nine sites, annual maximum snow depth has not shown a statistically significant change in recent decades.

Recent studies report that the amount of snowfall in Japan will decrease as a result of global warming; however, these studies use data collected at low altitudes. It is, therefore, important to question whether the same theory can be applied to high-altitude mountainous areas. In high-altitude areas of the Japanese Alps region, it is reasonable to expect that a cold atmosphere will be maintained even with global warming, and an increase in evaporated moisture vapor in the air caused by warming on a global scale will increase the amount of snowfall in the region.

\* 信州大学山岳科学総合研究所

\* Institute of Mountain Science, Shinshu University, Matsumoto, 390-8621, Japan

**Key words** : annual minimum temperature, monthly mean temperature of January, annual cumulative snowfall, annual maximum snow depth, Mann-Kendall test

キーワード : 年最低気温, 1月の月平均気温, 年累積降雪深, 年最大積雪深, Mann-Kendall 検定

## I. はじめに

日本アルプスは、飛騨山脈、木曾山脈、赤石山脈の総称であり、南北に約 200 km、東西に約 100 km の広がりをもつ。広義に中部山岳地域と呼ぶ際には、西の両白山地や東の富士山・八ヶ岳・三国山脈まで含めて考えるが、その場合には東西にも 200 km 以上の広がりがある。日本アルプスの山頂の標高は 3000 m 前後にすぎないが、本州の真ん中を日本海側から太平洋側まで連なるため、気象条件は変化に富み、北部は世界でも稀な多雪地帯となっている。また、山体の隆起速度が速く活火山もあることから、侵食速度が速く、標高の割には切り立った岩山も多いことが特徴である。植生も、周極要素・北方要素・大陸要素が混在し、貴重な高山蝶も数多く生息するとともに、ライチョウの生息地としては世界の南限でもある。高山蝶やライチョウは最終氷期からの生き残りと考えられる。しかし、山岳地域の生態系は地球規模での環境変動に対してきわめて脆弱でもある。これは、その生態系が温度条件や水文条件などの厳しい極限環境下で成立していることや、気温が高度とともに減少するため、気候変動などの影響がより狭い空間で発現することを意味している。

また、日本の日本海側地域は世界でもきわめて稀な多雪地帯として知られ、そこでは降雨にもまして降雪によってもたらされる多量の降水が水資源としてきわめて重要になる。シベリア大陸には、冬季の強い放射冷却によって背の低い熱的高気圧が形成される。この高気圧は、南側に聳えるチベット・ヒマラヤ山塊に阻まれるために南下できずに、太陽高度が低い冬の間にその勢力は次第に強化される。そのシベリア高気圧から東側に吹き出す寒冷で乾燥した気塊は、暖流である対馬海流が北上する日本海に流れ込むと、下層から熱と水蒸気の供給を受けて不安定となり、次々と積雲

対流を生み、それが次第に成長してわが国の日本海側地域に上陸する。この積雲内では、豊富な水蒸気と寒冷な温度によって降雪粒子の形成が盛んである。さらに、日本列島の真ん中を走る脊梁山脈にぶつかり強制上昇させられることにより多量の降雪をもたらすことになる。そのため、わが国の脊梁山脈には、世界的にも稀なほどの大量の雪が堆積し、春になるとともにそれが融け貴重な水資源となっている。雪は堆積しはじめる初冬から融雪によって消雪するまで、積雪として流域内にとどまることにより天然の白いダムとしての役割を果たしている。

雪は水資源としての役割のみならず、雪崩などによる地表面の機械的な剝削や残雪凹地形成などの地形形成作用、そして、積雪の断熱効果による植物の凍害からの保護や土壌への適度な水分補給、さらには強風からの保護などにより、植物や動物にとって冬季の適度な生息環境を提供している。

地球規模での気温上昇などの環境変動が、中部山岳地域にいかん影響を及ぼすのかは、植生分布や昆虫などの生息域の変化、そして水資源としての積雪量の変動を考える際にきわめて重要な課題である。にもかかわらず、中部山岳地域では気温などの最も基本的な気象観測すら十分になされていない現状がある。そこで、本稿では中部山岳地域における気象観測の現状を概観し、その重要性を再確認するとともに、これまでに得られたデータに基づき中部山岳地域における気温と降積雪深についての近年の変動を検討する。

## II. 観測の現状

### 1) 気象庁による観測

#### 1-1) 気象官署の緯度と年平均気温の関係

図 1 には気象庁のおもな気象官署（气象台や測候所、現在の特別地域気象観測所を含む）の緯度

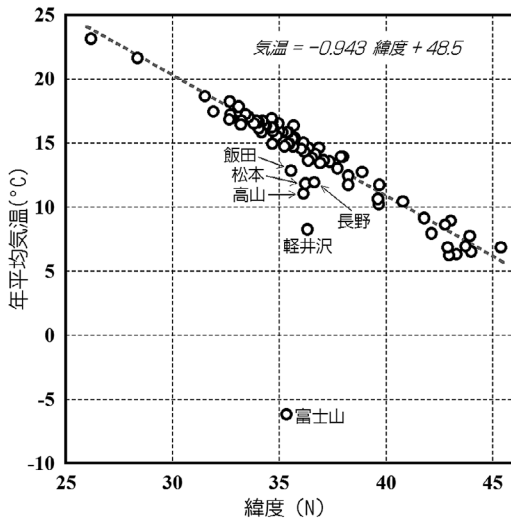


図 1 日本のおもな気象官署の緯度とそこでの年平均気温の関係。

Fig. 1 Relationship between the latitudes of Japan Meteorological Agency observation stations and annual mean air temperature.

とそこでの年平均気温の平年値（1981～2010）の関係を示す（データは理科年表（国立天文台，2011）による）。当然ながら北に行けば行くほど年平均気温は低下する。標高の高い富士山や図中に地名を示した観測点を除けば、緯度と年平均気温は明瞭な直線関係になる。この関係によれば、年平均気温が1℃変化するためには、南北に118 km 移動しなければならない。しかし、気温遞減率を0.65℃/100 m とすれば、標高差では154 m あれば気温は1℃異なる。つまり、気温の水平的な変化に対して高度方向の変化が約800倍も急激であることになる（Suzuki, 2011）。植物の分布は大局的には気温によって規定されるので、水平的な植生の変化に気づくのは難しいが、高度とともに急激に気温の変化する山岳域では地球規模での気温変動の影響による植生の変化は敏感であることになる。たとえば、仮に気温が上昇すれば標高の高い寒冷な環境に生育する植物は住処を失うことになる可能性もある。植生が変われば昆虫の分布も変わり、ついには大型動物にまで影響が出てくることになる。地球規模での環境変化の影響

が山岳域では如実に現れることになる。

図1に示した富士山の観測地点は標高が3775.1 mで、日本の気象観測地点では最も高い。しかしながら、富士山で現在も通年観測されているのは、気圧、気温、湿度のみである。富士山では、2004年8月24日までは、気圧・気温・湿度に加えて、風向・風速・全天日射量、積雪深についても観測が行われていたが、人員削減の方針により富士山測候所が廃止された。富士山以外で図1に地名を記した観測点は、軽井沢（標高: 999.1 m）、松本（610.0 m）、高山（560.0 m）、飯田（516.4 m）、長野（418.2 m）の5地点であり、これらの地点は他の気象官署に比べて標高が高くなっている。そのため、緯度による気温の変化に標高の効果が加味され、回帰直線から外れている。なお、富士山を含めた6地点は、中部山岳地域に位置している。

### 1-2) 地域気象観測システムの緯度と標高

通称アメダス（AMeDAS）と呼ばれる、気象庁の「地域気象観測システム」（Automated Meteorological Data Acquisition System）は、全国の約1300カ所に設置されている。そのうち、ロボット気象計（降水量、気温、風向、風速、日照時間）と気象官署（現在の特別地域気象観測所を含む）に併設されている地上気象観測装置の設置地点の緯度と標高の関係を図2に示す。前述のように、現在では気圧、気温、湿度のみが通年観測であるが、富士山の3775.1 mが最高所である。次いで標高の高い観測地点は野辺山の1350.0 mである。なお、野辺山では積雪深が観測されていない。地球規模での気温変動の影響が顕著に現れると考えられる中部山岳地域において、1350 mよりも標高の高い地点では、気象庁による気温の観測が行われていない。

アメダスのうち、降水量のみを観測している地点が全体の約1/3の440カ所あり、気象要素としては降水量の観測地点が最も多く、平均すると約17 km 間隔の地点に配置されている。これは、集中豪雨によって洪水や土砂崩れなどが起こるように、降水量が直接的に人間生活に災害として影響を及ぼすため、その監視を目的として多

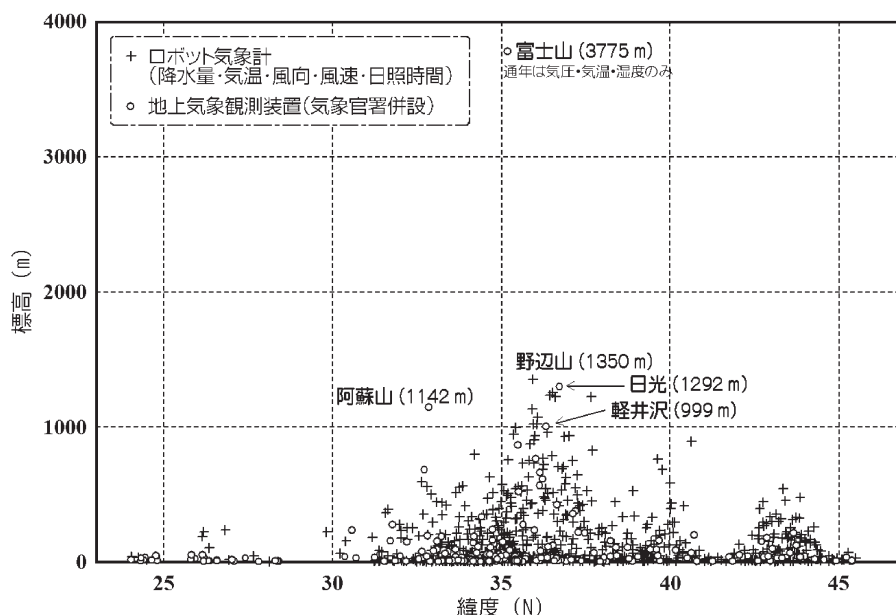


図 2 気象庁による降水量，気温，風向，風速，日照時間の観測地点の緯度と標高の関係。

Fig. 2 Relationship between latitudes and altitudes of Japan Meteorological Agency observation stations where data of precipitation, temperature, wind speed and direction, and actual sunshine duration are collected.

数地点に配置されている。しかしながら，2012年9月末日現在も通年で降水量を観測している地点の最高所は御嶽山の2195.0 mであり，次いで中央アルプス・宮田高原の1660.0 mである。標高1500 m以上では，1510.0 mの上高地を加えて3カ所のみである(図3)。標高1500 m以上の面積は，わが国の2.2%にすぎないとはいえ，アメダスの総数である1300カ所の2.2%は28.6カ所であり，観測地点の単純な割合からいっても3カ所は少ない。標高が高くなれば降水量は増加することが報告されており(中川ほか，2002; 中北ほか，2002)，また，前述のように山岳地域の冬季降水は積雪の状態を経ることにより，白いダムとしての役割を果たすため，降水量観測地点の少なさにより水資源の定量的な議論ができなくなる。山岳地域における降水量の観測は，通年で実施する場合にはヒーターのための商用電源を必要とするし，強風下での捕捉率の問題もあり，さまざまな制約があるために観測地点が少ないものと考えられる。

降水量の観測のみとはいえ，図3に示すように気象庁では標高1500 m以下での観測地点は多いといえる。そこで，本稿では観測地点の少ない標高1500 m以上を高標高と呼ぶ。

暖候期のみとはいえ，乗鞍岳の標高2730.0 m地点では2004年10月1日9時まで，燕岳の1840.0 m地点では2008年10月30日17時まで降水量が観測されていた。標高1500 m以上でも，暖候期のみとはいえ，以前は降水量の観測が比較的多くの地点で行われていた。

地域気象観測システムによって積雪深が観測されている地点の緯度と標高の関係を図4に示す。積雪深観測の最高所は日光の1291.9 mであり，菅平(1253.0 m)，草津(1223.0 m)，阿蘇山(1142.3 m)，開田高原(1130.0 m)と続き，1000 mを超える標高の観測点はこの5地点にすぎない。積雪深観測の空間代表性は必ずしも高くはないが，ある地点での長期観測データが揃えば，気温の変動に伴う積雪深変動などに関する議論ができるにもかかわらず，現状ではわが国の高標高の山

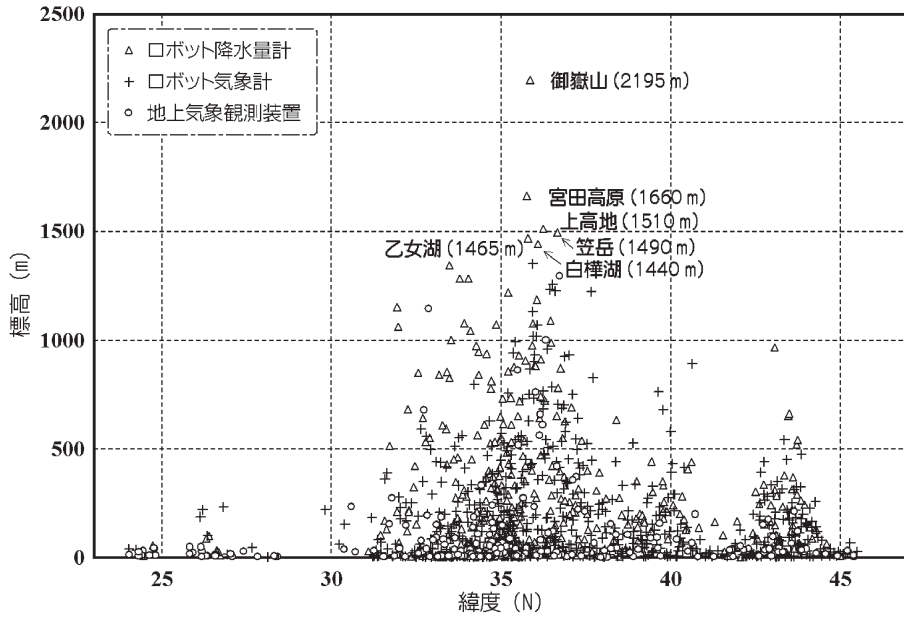


図 3 気象庁による降水量の観測地点の緯度と標高の関係。

Fig. 3 Relationship between latitudes and altitudes of Japan Meteorological Agency observation stations for precipitation measurements.

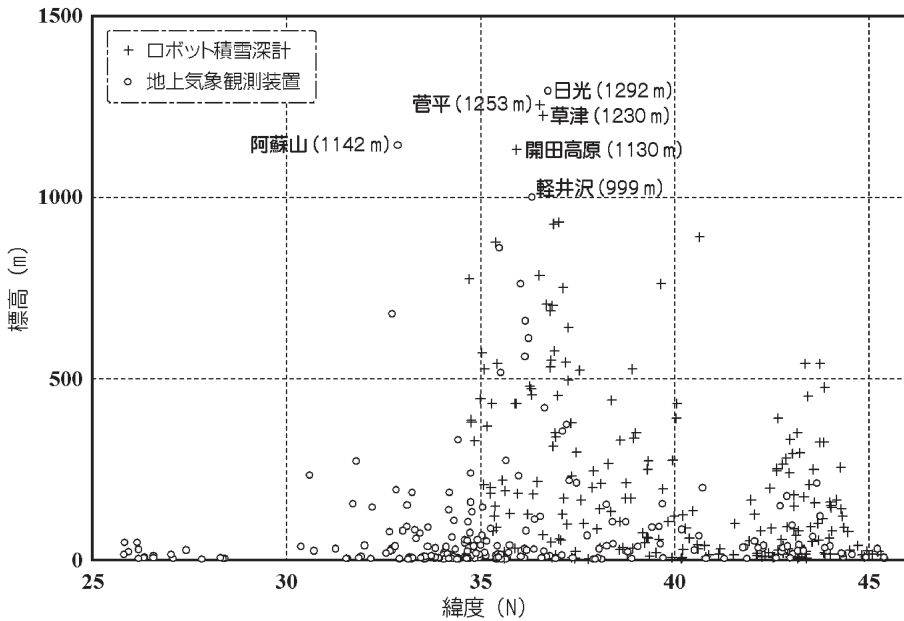


図 4 気象庁による積雪深の観測地点の緯度と標高の関係。

Fig. 4 Relationship between latitudes and altitudes of Japan Meteorological Agency observation stations for snow depth measurements.

岳地域について議論することは不可能である。

## 2) 国土交通省河川局による降雨量の観測

気象庁も現在は国土交通省の外局であるが、国土交通省河川局では内務省土木局の時代の1938(昭和13)年から、河川計画の立案、施設の整備や管理のために、全国の主要河川において流量と降雨量を観測している<sup>1)</sup>。1938年には流量が111カ所、降雨量が82カ所であったが、2010年6月1日現在では、流量(水位)が2082カ所、降雨量が2646カ所の観測所がデータベースに登録されている。なお、集計されたデータが雨量年表、流量年表として(公社)日本河川協会からCD-ROM版で出版されている。それによると通年で日降水量のデータを利用することができるのは、422地点(2005年版)があるが、収録された観測地点での最高所は標高1505mの上高地である(日本河川協会, 2005)。国土交通省河川局でも、冬季降水量観測のための商用電源問題で、上高地を除けば高標高地点での冬季観測が行われていない。

## 3) 防災科学技術研究所雪氷防災研究センターによる観測

雪氷災害の防止と被害の軽減をめざしている(独)防災科学技術研究所雪氷防災研究センターでは、積雪気象観測網を整備している。現在の観測地点の位置および観測開始日と観測要素を表1に示す。ここでの観測の特徴は、中山間地を含めた多くの地点で積雪深や積雪重量を観測していることである。とくに、積雪重量のデータは屋根雪の荷重への対応や雪崩発生の予測などに活用されている。さらに、放射に関する項目も多くの地点で観測されているのは、積雪粒子の変態や雪崩・融雪現象の解析のためである。

雪氷防災研究センターによる積雪気象観測網は里山地域をも対象としているため、観測地点の標高はそれほど高くはないが、積雪の研究にとって貴重なデータである。白馬八方尾根(標高: 2080m)では積雪深が観測されていないが、2007年12月から開始された標高2390mの富士山五合目での観測データが蓄積されれば、高標高地点での積雪や気温などの変動を検討するには有意義

になる。

雪氷防災研究センターによって観測されたデータを用いた研究は、清水ほか(1996)、Nakamura *et al.* (1997)、阿部・清水(2000)、Shimizu and Abe(2001)、山口・阿部(2007)、Yamaguchi *et al.* (2011)として報告されている。Yamaguchi *et al.* (2011)では、山岳地域における約20年の観測記録からは、冬季平均気温の顕著な上昇や積雪深の減少は確認できないと報告されている。

## 4) 信州大学山岳科学総合研究所による観測

前述のように、わが国では山岳地域における気象観測データの整備がきわめて不十分である。そこで、高標高地点での気象観測データのデータベース化を目的として、信州大学山岳科学総合研究所では、中部山岳地域における気象観測網を整備してきた。これまでに観測を開始している地点は、表2に示すように、槍ヶ岳(標高: 3070m)、乗鞍富士見岳(2798m)、白馬岳(2740m)、燕岳(2710m)、中央アルプス千畳敷(2630m)、西穂高岳(2355m)、志賀高原(1620m)、乗鞍休暇村(1590m)、上高地(1530m)、乗鞍高原(1450m)の10カ所である。なお、表2には観測地点の位置および観測開始日と観測要素を示す。表2に示した観測地点の位置と標高を図5に示す。観測地点の最高所は、槍ヶ岳山頂直下の3070mである。10カ所の観測地点は、乗鞍高原の1450mから3070mまでの標高に分布しており、気象庁による観測の空白標高をほぼ埋めている。志賀高原(標高: 1620m)、上高地(1530m)、乗鞍高原(1450m)では商用電源と固定電話回線を使用している。それ以外の地点では、ソーラーパネルと蓄電池による通年観測である(ただし、千畳敷では、通年での降水量観測のためのヒーターにのみ商用電源を利用している)。各地点ではデータロガーにデータを蓄積するとともに、携帯電話網のデータ通信や固定電話回線を介して山岳科学総合研究所のコンピュータに観測データが随時送信される。これらの気象観測データは準リアルタイムで研究所のホームページ上<sup>2)</sup>で公開している。

積雪深観測での最高所は2355mの西穂高岳で

表 1 (独) 防災科学技術研究所による気象観測地点の位置情報とそこでの観測要素.

観測地点	標高		開始年月	観測要素														
	(m)	(度)		北緯 (度)	東経 (度)	積雪深	積雪重量	気温	湿度	雪温	地温	下向日射	上向日射	下向長波	上向長波	風速	風向	降水量
ニセコ	800	42.860	140.660	2002年12月	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
藤崎	22	40.656	140.485	1994年11月	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
岩木山	1238	40.655	140.293	1994年11月	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
新庄	127	38.790	140.312	1973年12月	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
肘折	282	38.657	140.204	2010年2月	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
月山麓沢	1150	38.516	140.008	2002年10月	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
月山志津	700	38.490	139.999	1991年12月	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
西山薬師	320	37.476	138.715	2002年12月	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
雪氷防災研	97	37.426	138.887	1965年3月	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
守門大平	510	37.397	139.073	2003年12月	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
栃尾田代	420	37.371	138.945	2004年12月	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
山古志	310	37.345	138.938	-	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
魚沼大芋川	255	37.294	138.920	2004年12月	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
湯ノ谷栃尾又	293	37.189	139.083	1998年12月	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
奥只見丸山	1205	37.159	139.218	1989年12月	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
湯ノ谷銀山平	769	37.136	139.158	1998年12月	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
妙高笹ヶ峰	1310	36.868	138.078	1990年11月	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
白馬八方尾根	2080	36.696	137.789	2007年10月	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
白山白峰	825	36.183	136.637	1992年12月	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
大山鏡ヶ成	875	35.339	133.581	1994年12月	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
富士山五合目	2390	35.337	138.734	2007年12月	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

表 2 信州大学山岳科学総合研究所による気象観測地点の位置情報とそこでの観測要素.

Table 2 Locations and observational components of observation sites developed by the Institute of Mountain Science, Shinshu University.

観測地点	標高 (m)	北緯 (度)	東経 (度)	開始日 (年月日)	観測要素										
					気温	湿度	風向風速	気圧	下向日射	上向反射	下向長波	上向長波	降水量	積雪深	
槍ヶ岳	3070	36.340	137.646	2008/10/22	○	○	○	○	○						△
乗鞍富士見岳	2798	36.121	137.558	2003/10/15	○	○	○	○	○						△
白馬岳	2740	36.752	137.753	2010/09/26	○	○	○	○							△
燕岳	2710	36.399	137.715	2008/11/14	○	○	○	○	○						△
中央アルプス千畳敷	2630	35.778	137.814	2006/11/08	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
西穂高岳	2355	36.265	137.617	2008/10/15	○	○	○	○	○						△ ○
志賀高原	1620	36.711	138.495	2007/11/21	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
乗鞍休暇村	1590	36.114	137.613	2002/11/18	○	○	○	○	○	○	○	○	○	△	○
上高地	1530	36.253	137.669	2008/09/08	○	○	○	○	○						○ ○
乗鞍 St.	1450	36.122	137.630	2006/03/18	○	○	○	○	○						○

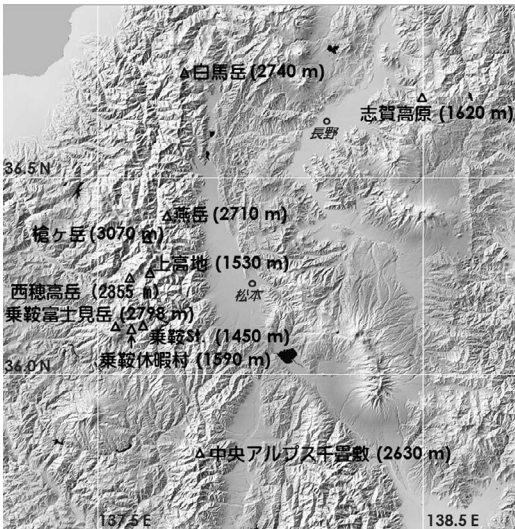


図 5 信州大学山岳科学総合研究所による気象観測地点の位置と標高.

Fig. 5 Map showing the location and altitude of meteorological stations established by the Institute of Mountain Science, Shinshu University.

あるが、観測を開始した 2008 年 10 月から 2012 年 6 月までの積雪深の観測結果を図 6 に示す。積雪深が増加する時期の観測では異常値が頻発したが、2011～2012 年冬季からは継続的なデータを取得できるようになった。厳冬期には比較的

順調にデータが得られており、西穂高岳では 3 月下旬から 4 月上旬にかけて最大積雪深が観測される。2010～2011 冬季は最大積雪深が若干少なめであるが、他の 3 冬季は 600 cm 前後の最大積雪深を示している。

なお、信州大学山岳科学総合研究所と連携事業を実施している筑波大学、岐阜大学を加えた機関による気象観測については、上野ほか (2013) に詳しく述べられている。

### 5) 高標高地点での気象観測の問題点

商用電源が利用できない地点において、現状の機器では固体降水量を観測することができないため、中央アルプス千畳敷 (2630 m) のような特殊な地点を除いては、高標高地点で降水量を通年で観測することができない。さらに、高標高地点での気象観測は、過酷な環境条件のための困難さも伴う。中部山岳地域における冬季の気象条件は、風速のみでは観測機器に損傷を与えるような激しい強さではないにもかかわらず、高標高地点での風向風速計は冬季に頻繁に損傷を受ける。これは、比較的気温の高い時の降雪が風向風速計に付着し固結すると、機器が風向に追従することができなくなる。その際に横風を受けると風向風速計本体が飛ばされるなどの損傷を受けることになる。降雪は他の気象観測機器にも影響を及ぼす



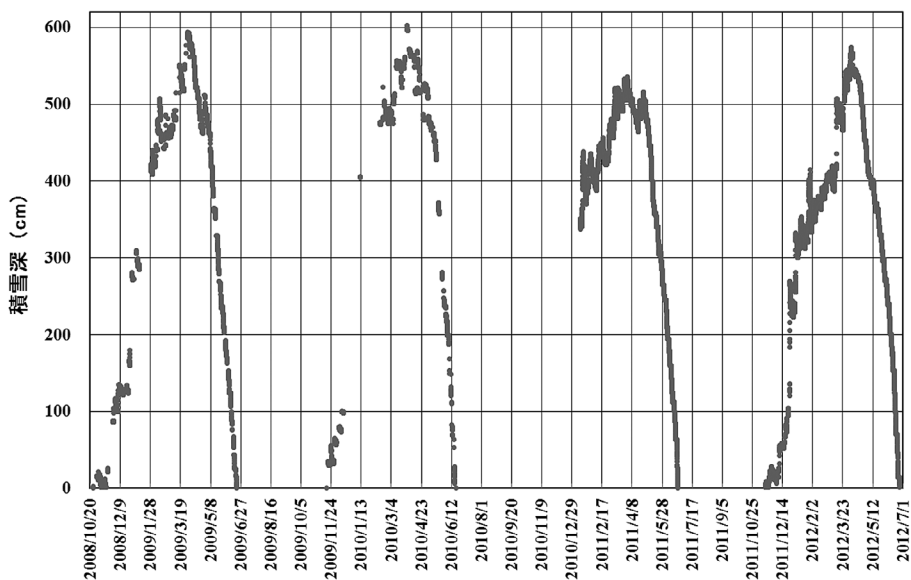


図 6 西穂高岳地点における積雪深の観測結果。

Fig. 6 Variations of snow depth at the Nishi-Hodaka observation site.

が、簡単にはそれを除去する手立てのないことも、高標高地点での継続的な観測の困難さに直結する。観測地点へのアクセスの面から、夏季における気象観測機器のメンテナンスさえも容易なことではない。

### III. 中部山岳地域における近年の冬季気候変動

#### 1) 冬季気温

いわゆる地球温暖化といわれている全球規模での気温の上昇に寄与しているのは、最高気温ではなく最低気温の上昇であり、季節としては冬と春であるといわれている (Karl *et al.*, 1988)。IPCC 第 4 次評価報告書 (IPCC, 2007) でも、中緯度の陸域における気温に関して最も特徴的な変化は、寒い夜の出現頻度の減少であると述べられている。

そこで、中部山岳地域における冬季気温について検討する。図 1 では、比較的標高が高い気象官署 (富士山 (標高: 3775.1 m), 軽井沢 (999.1 m), 松本 (610.0 m), 高山 (560.0 m), 飯田 (516.4 m), 長野 (418.2 m)) を除けば、緯度と年平均気温が直

線関係で近似できることを示した。さらに、中部山岳地域における気温と標高との関係を議論するために、河口湖 (標高: 859.6 m), 諏訪 (760.1 m), 甲府 (272.8 m), 高田 (12.9 m), 富山 (8.6 m), 金沢 (5.7 m) の 6 地点を加えた 12 地点について検討する。この 12 地点における 1 月の月平均気温と年最低気温の経年変化を図 7 に示す。なお、1 月の月平均気温と年最低気温については、気象庁のホームページで公開されているデータを使用した。図中の直線は変動の傾向線を示し、Mann-Kendall 検定によって変動が有意か否かを検定した。それによると、富士山 (標高: 3775.1 m) の年最低気温と 1 月の月平均気温は有意水準 10% でも有意な変動傾向を示さない (図中に破線で示す傾向線)。それに対して、軽井沢 (999.1 m) の 1 月の月平均気温は有意水準 5% 以下で有意な増加傾向を示す。軽井沢の年最低気温および他の 10 地点の 1 月の月平均気温・年最低気温は、有意水準 1% 以下で増加傾向が有意である。なお、表 3 には、12 地点の標高・緯度・経度とともに、Mann-Kendall 検定の結果を示す。これによる

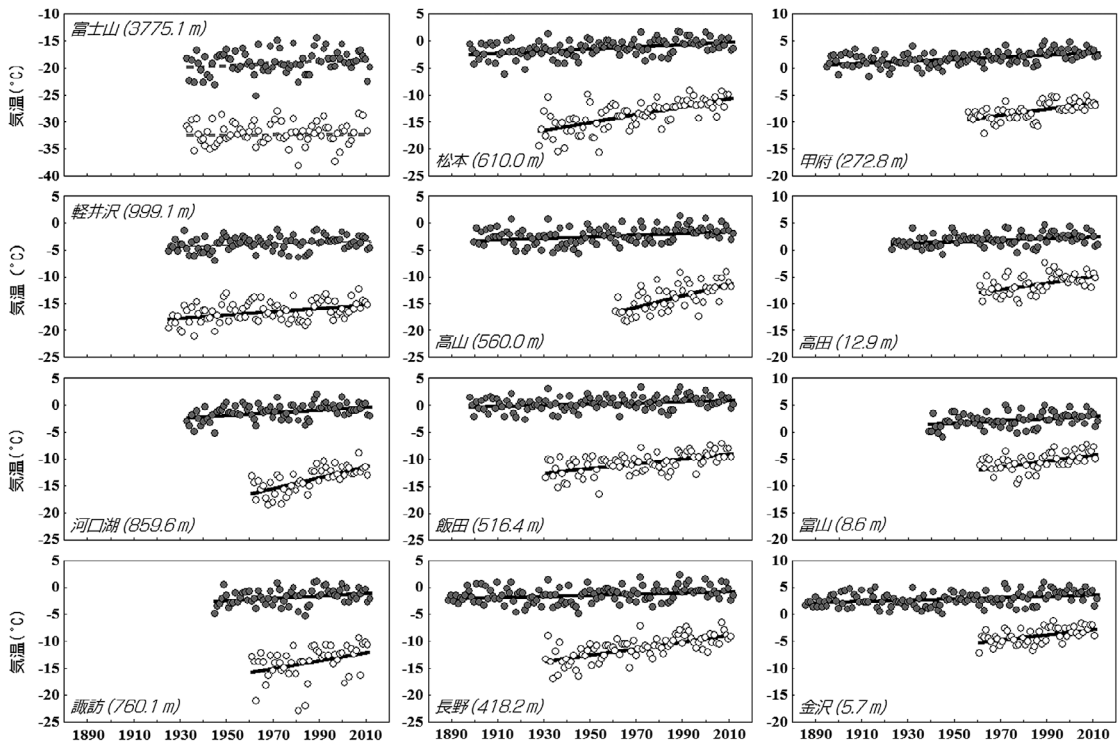


図 7 中部山岳地域の気象官署における1月の月平均気温(灰丸)と年最低気温(白丸)の変動。太実線は有意水準1%以下で有意, 細実線は有意水準5%以下で有意であることを示す。破線は変動傾向が統計的に有意ではないことを示す。

Fig. 7 Variations of monthly mean air temperature in January (gray circle) and annual minimum air temperature (open circle) at Japan Meteorological Agency observation stations. Bold solid line indicates 1% significance level. Thin solid line indicates 5% significance level. The dashed line indicates that the trend of variations of temperature is not statistically significant ( $p > 0.1$ ).

と、いずれの地点においても、年最低気温の方が1月の月平均気温よりも近年の増加傾向が顕著である。

標高 999.1 m の軽井沢から標高 3775.1 m の富士山までの間の標高に気象官署がないため、標高による変動傾向の差異に言及するのははばかられるが、少なくとも富士山では1月の平均気温と年最低気温の変動傾向は統計的には有意ではない。とくに、年最低気温については、Mann-Kendall 検定による  $\tau$  の値が 0.047 であり、わずかに正の値を示すとはいえ、ほとんど増減がないと解釈してもよさそうである。アメダスのロボット気象計のデータは、気象官署のデータよりも利用できる期間が短いため、同様に議論することは

できないが、アメダス観測地点の最高所の野辺山 (1350.0 m) では、2011 年までの 33 年間で、年最低気温の Mann-Kendall 検定の結果は、 $\tau$  値が 0.063、 $p$  値が 0.613 となり、ほとんど増減がないといえる。これらのことから、標高が高くなるに従い冬季気温の増加傾向は不明確になると考えられる。

富士山、剣山 (1944.8 m)、伊吹山 (1375.8 m)、阿蘇山 (1142.3 m)、筑波山 (868.0 m) を山岳域として気温の変動傾向を検討した但野ほか (2006) でも、山岳域での年平均気温の上昇傾向は近隣都市に比べて 1/3 程度であると報告されている。なお、剣山、伊吹山、筑波山の観測は 2001 年で中止された。なお、中津留ほか (2011) は、筑波山

表 3 中部山岳地域の気象官署における年最低気温, 1月の月平均気温, 年累積降雪深, 年最大積雪深の経年変動の Mann-Kendall 検定結果.  
 Table 3 Results of Mann-Kendall test for annual minimum temperature, monthly mean air temperature in January, annual cumulative snowfall and annual maximum snow depth at each observation station.

地点名	標高 (m)	緯度	経度	年最低気温			1月の平均気温			累積降雪深			年最深積雪深					
				開始年	終了年	N	Tau	P	開始年	終了年	N	Tau	P	開始年	終了年	N	Tau	P
富士山	3775.1	35.36	138.73	1933	2011	75	0.047	0.553	1933	2012	80	0.119	0.119	1966	2004	39	0.239	<b>0.032</b>
軽井沢	999.1	36.34	138.55	1925	2011	87	0.256	<b>0.000</b>	1925	2012	88	0.164	<b>0.024</b>	1926	2012	86	-0.057	0.433
河口湖	859.6	35.50	138.76	1961	2011	50	0.500	<b>0.000</b>	1933	2012	80	0.260	<b>0.001</b>	1962	2012	51	-0.054	0.577
諏訪	760.1	36.05	138.11	1961	2011	50	0.328	<b>0.001</b>	1945	2012	68	0.223	<b>0.007</b>	1962	2012	47	-0.101	0.316
松本	610.0	36.25	137.97	1928	2011	84	0.502	<b>0.000</b>	1898	2012	114	0.293	<b>0.000</b>	1962	2012	50	-0.005	0.959
高山	560.0	36.16	137.25	1961	2011	51	0.464	<b>0.000</b>	1900	2012	113	0.209	<b>0.001</b>	1962	2012	51	-0.009	0.922
飯田	516.4	35.52	137.82	1931	2011	81	0.372	<b>0.000</b>	1898	2012	115	0.189	<b>0.003</b>	1962	2012	51	0.092	0.341
長野	418.2	36.66	138.19	1930	2011	81	0.504	<b>0.000</b>	1889	2012	124	0.196	<b>0.001</b>	1962	2012	51	-0.014	0.883
甲府	272.8	35.67	138.55	1956	2011	56	0.430	<b>0.000</b>	1895	2012	118	0.327	<b>0.000</b>	1962	2012	49	-0.054	0.582
高田	12.9	37.11	138.25	1961	2011	51	0.333	<b>0.001</b>	1923	2012	89	0.251	<b>0.000</b>	1962	2012	51	-0.163	<b>0.091</b>
富山	8.6	36.71	137.20	1961	2011	51	0.372	<b>0.000</b>	1939	2012	74	0.230	<b>0.004</b>	1962	2012	51	-0.127	0.187
金沢	5.7	36.59	136.63	1961	2011	51	0.353	<b>0.000</b>	1886	2012	127	0.249	<b>0.000</b>	1962	2012	51	-0.341	<b>0.000</b>

N: 年数. Tau: Mann-Kendall 検定による  $\tau$  値. P: Mann-Kendall 検定による  $p$  値.

太字: 有意水準 1% で有意. 斜体: 有意水準 10% で有意.

N: number of years. Tau:  $\tau$  value of Mann-Kendall test. P:  $p$  value of Mann-Kendall test.

Bold: 1% significance level. Italic: 10% significance level.

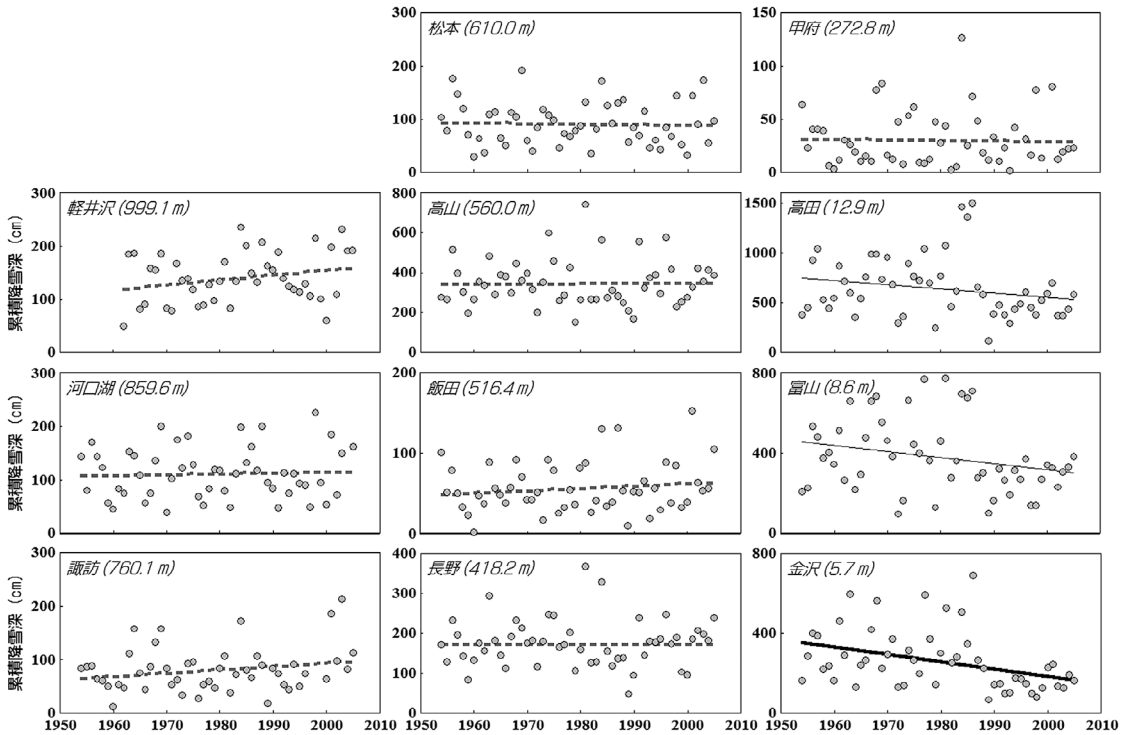


図 8 中部山岳地域の気象官署における累積降雪深の変動。太実線は有意水準 1% 以下で有意，細実線は有意水準 5% 以下で有意であることを示す。破線は変動傾向が統計的に有意ではないことを示す。

Fig. 8 Variations of the annual cumulative snowfall at Japan Meteorological Agency observation stations. Bold solid line indicates 1% significance level. Thin solid line indicates 5% significance level. The dashed line indicates that the trend of variations of temperature is not statistically significant ( $p > 0.1$ ).

における 1902 年から 2009 年までの 108 年間について気温データを整理し解析を行った。その結果、筑波山における 108 年間の気温変化率は  $0.90^{\circ}\text{C}/100$  年であり、日本を代表する 17 地点の気温変化率 ( $1.18^{\circ}\text{C}/100$  年) よりも小さいことを明らかにした。

富士山以外の気象官署における冬季気温は近年上昇傾向にあることが示されたが、冬季気温の上昇は、都市気候においても発現するため、都市バイアスを考慮する必要がある。(日下ほか, 1998; Fujibe, 2009, 2011; Fujibe and Ishihara, 2010; 藤部, 2011)。表 3 に示すような中部山岳地域の気象官署のうち、河口湖よりも標高の低い地点のほとんどは、県庁所在地を含む中小都市に位置しており、年最低気温や 1 月の月平均気温に都市

バイアスの影響が考えられる。都市化されていないアメダス観測所のデータと比較することにより、中部山岳地域での冬季気温上昇における都市バイアス効果の検討は今後の課題である。

## 2) 降積雪

次に、水資源を考える際に重要な気象要素となる降積雪について検討する。冬季気温の検討と同じ 12 地点における年累積降雪深と年最大積雪深の経年変動を図 8 および図 9 に示す。なお、富士山では年累積降雪深のデータが得られていない。

甲府よりも標高の高い 8 地点においては、年累積降雪深の経年変動における増減傾向は統計的には有意ではなく、河口湖と松本を除く 5 地点については傾向線が上向きになっている(表 3 の  $t$  値がプラス)。甲府の標高は 272.8 m であり、

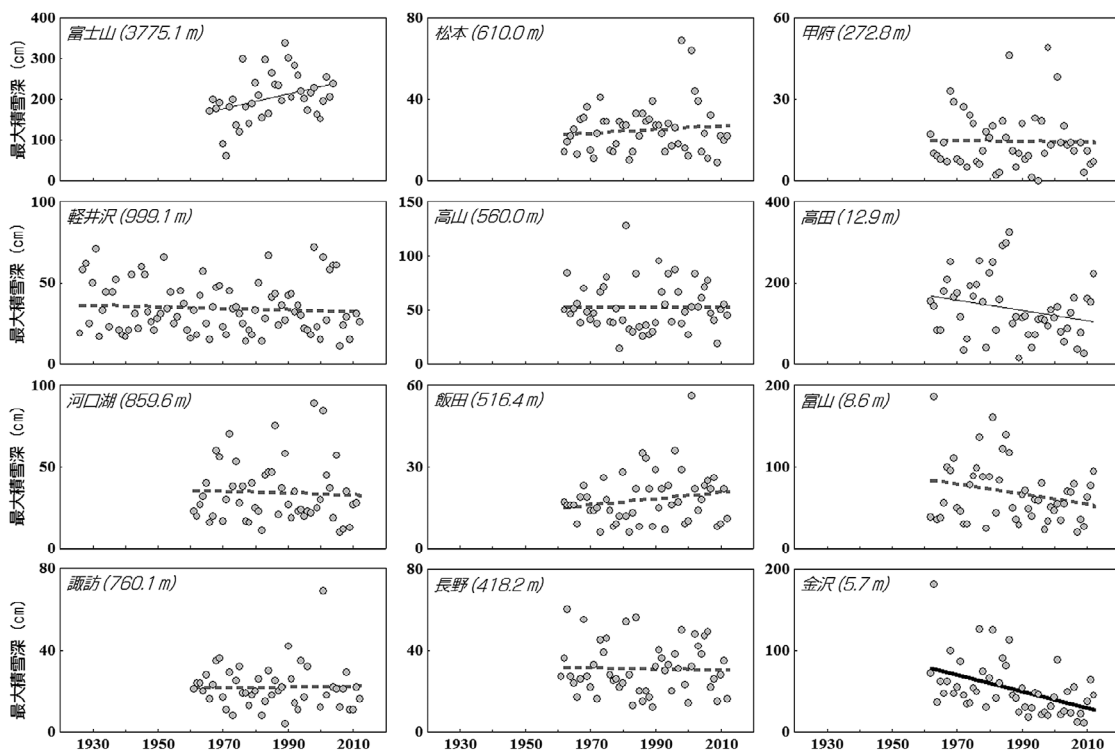


図 9 中部山岳地域の気象官署における最大積雪深の変動。太実線は有意水準 1% 以下で有意、細実線は有意水準 5% 以下で有意であることを示す。破線は変動傾向が統計的に有意ではないことを示す。

Fig. 9 Variations of the annual maximum snow depth at Japan Meteorological Agency observation stations. Bold solid line indicates 1% significance level. Thin solid line indicates 5% significance level. The dashed line indicates that the trend of variations of temperature is not statistically significant ( $p > 0.1$ ).

8 地点のいずれもが中部山岳地域の内陸部に位置している。高田と富山においては有意水準 10% 以下で年累積降雪深の減少傾向が有意であり、金沢においては有意水準 1% 以下で年累積降雪深の減少傾向が有意である。この 3 地点は海岸近くに位置し、標高が低い。以上のことから、中部山岳地域の内陸部では、「温暖化すると降雪量が少なくなる」とは必ずしもいえない。わが国における降雪量が、地球温暖化とともに減少するとの予測結果が報告されている（例えば、Inoue and Yokoyama, 2003; Hara *et al.*, 2009）が、これらはおもに標高の低い地点のデータを用いて行われた研究であり、標高の高い山岳地域では、降雪量が増加するとも考えられるのである。なぜなら、気温の上昇によって海からの蒸発量は増加す

るから、それに対応して降水量も増加し、気温は氷点下のため降雪粒子が融けて雨になることもないからである（鈴木, 2012）。前述のように、約 1300 m よりも標高の高い地点での降積雪データは公開されておらず、いずれの予測モデルにおいても標高の高い地点での地上データによる検証がなされていないのである。表 3 にみられるように、標高の低い金沢、富山、高田では、年累積降雪深の減少が統計的に有意である。これらの地点では 1 月の平均気温が 0°C 以上の年が頻発するように、冬季気温が雨/雪の閾値付近であるため、気温がわずかに上昇することで降雪粒子が落下の途中で融けて雨になる。内陸部の標高が高い地点では、冬季気温の上昇傾向にかかわらず、累積降雪深が減少しているわけではないことは、前述の

鈴木（2012）の仮説を指示する。さらに気温の低い標高 1300 m 以上の地点における累積降雪深の観測データの蓄積があれば、この仮説を確認することができるのであるが、わが国におけるデータの不備のため現状では不可能である。

図 9 に示す年最大積雪深の経年変動では、富士山において有意水準 5% 以下で最大積雪深の増加が有意である。一方、金沢では有意水準 1% 以下で、高田では有意水準 10% 以下で最大積雪深の減少が有意である。しかしながら、ほかの 9 地点では近年の最大積雪深の増減は統計的に有意ではない。富山における最大積雪深の変動傾向は減少傾向のようにみえるが、Mann-Kendall 検定では  $p$  値が 0.187 であり、統計的に有意な変動ではない。ほかの中部山岳地域内陸部の 8 地点での年最大積雪深の増減傾向は、グラフの概観からもみてとることができない。

中部山岳地域における降積雪深の近年の変動を検討した結果、内陸部の標高が高い地点では、冬季気温の上昇傾向にかかわらず、累積降雪深や最大積雪深が減少しているわけではない。さらに、富士山の最大積雪深の増加傾向は統計的に有意であり、高標高地点では降積雪深は増加していると考えられる。

### 3) 気象要素と標高の関係

中部山岳地域には、3000 m 級の山々が連なるにもかかわらず、標高 1300 m 以上の地点における気象観測データの蓄積がなされていないため、標高が 1500 m を超えるような高標高地点での気象観測の必要性について言及してきたが、これまで検討した気温と降積雪深について標高との関係をまとめておく。

これまで長期変動傾向の統計解析に用いてきた、Mann-Kendall 検定は、外れ値の影響を受けにくく、時系列データが正規分布か否かにかかわらず適用可能なノンパラメトリック検定であり、長期変動傾向の解析に有用な手法である（松山・谷本, 2005）。Mann-Kendall 検定の検定統計量  $\tau$  が正（負）であれば、その時系列は増加（減少）傾向にあるといえる。なお、 $\tau$  値の絶対値の最大は 1 である。また、 $p$  値は帰無仮説が正しいと

いう条件の下で、検定統計量の値よりも極端な統計量が観測される確率のことである。

これまで検討してきた 12 地点における、年最低気温、1 月の月平均気温、年累積降雪深、年最大積雪深について、Mann-Kendall 検定による  $\tau$  値と観測地点の標高との関係を図 10 に示す。年最低気温と 1 月の月平均気温は、比較的標高の低い地点では  $\tau$  値が大きな正の値を示し、統計的にも有意な上昇傾向を示す。なお、観測地点ごとにも気象要素ごとにも統計期間が異なっている。

年累積降雪深については、海岸近くで標高の低い 3 地点で、 $\tau$  値が負の値で統計的に有意な減少傾向を示す。一方、内陸部の 8 地点では  $\tau$  値が絶対値の小さな負の値から正の値を示し、統計的に有意な変動ではないが、さらに高標高地点でのデータがあれば、 $\tau$  値が大きな正の値となり有意な増加傾向になることが推察できる。

年最大積雪深の長期変動は、金沢と高田で  $\tau$  値が負で統計的にも有意な減少傾向を示す。一方で、富士山では  $\tau$  値が正で統計的に有意な増加傾向を示す。

冬季気温が雪/雨の閾値付近の地点での降雪量の減少については前述したが、次に標高との関連を検討する。各観測地点における 1 月の月平均気温と年累積降雪深との相関係数および相関解析の  $p$  値を表 4 に示し、観測地点の標高と相関係数の関係を図 11 に示す。海岸近くの標高の低い 3 地点ではきわめて高い相関係数を示し、1 月の月平均気温の高低によって累積降雪深が明瞭に増減することがわかる。中部山岳地域の内陸の地点でも、甲府から高山までは有意水準 1% 以下で有意な正の相関を示す。諏訪でも有意水準 5% 以下で有意な正の相関を示すが、軽井沢、河口湖、松本では相関係数が小さく、相関が統計的にも有意ではない。つまり、軽井沢、河口湖、松本では、累積降雪深の増減が 1 月の月平均気温の高低には左右されないことを示す。

年最低気温、1 月の月平均気温、年累積降雪深、年最大積雪深の長期変動傾向は標高によって異なることが明らかである。

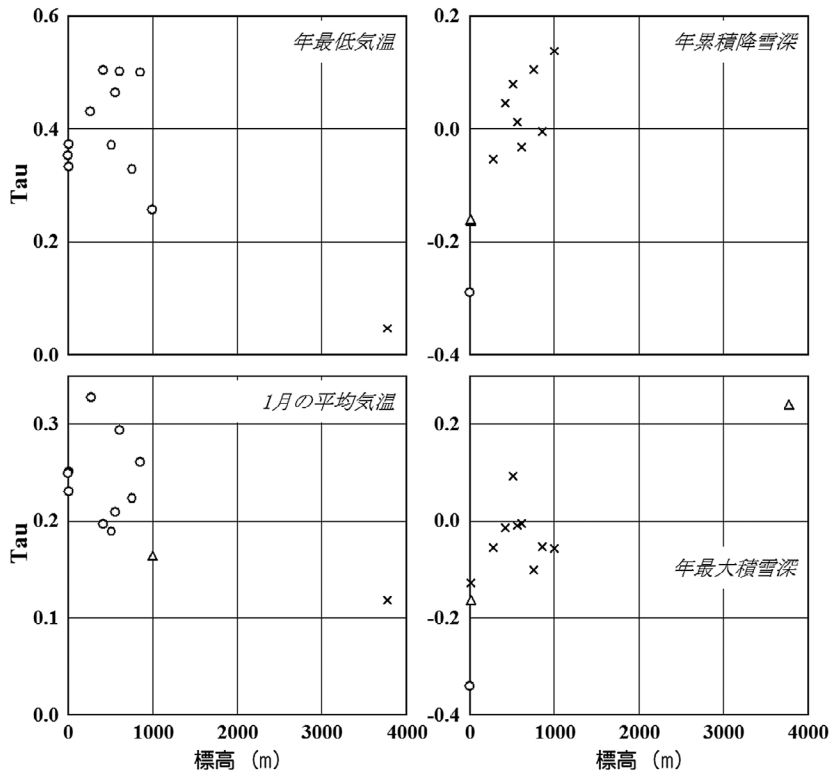


図 10 中部山岳地域の気象官署における年最低気温，1月の月平均気温，年累積降雪深，年最大積雪深について，Mann-Kendall 検定による  $\tau$  値 (Tau) と観測地点の標高との関係。丸印：有意水準 1% 以下で有意。三角印：有意水準 5% 以下で有意。x：統計的に有意ではない。

Fig. 10 Relationship between altitudes of observation stations and  $\tau$  value obtained from Mann-Kendall test for annual minimum temperature, monthly mean air temperature in January, annual cumulative snowfall and annual maximum snow depth. open circle: statistically significant at 1% significance level. triangle: statistically significant at 5% significance level. x: statistically not significant.

#### IV. まとめと今後の課題

わが国の 2/3 を占める山岳地域は，都市域の人々に清浄な大気と水を供給する生態系サービスの重要な役割を果たしている。また，山岳地域の自然環境は，地球規模での気候変動にきわめて敏感に反応するため，温暖化といわれる地球規模での気温の変動に対する応答を科学的に評価することが求められている。しかしながら，富士山測候所が 2004 年 8 月に廃止されたことにより，気温・湿度・風向・風速・降水量に積雪深の観測まで含めた気象庁の気象観測地点で，最も標高が高いのは，標高 1291.9 m の日光で，積雪深が観測され

ていない地点も加味すれば，標高 1350.0 m の野辺山となる。生態系の分布を規定する気温については，1350 m から 3775.1 m までの標高の間ではデータの蓄積がなされていないのである。さらに，水資源として重要な積雪については，標高 1292 m 以上の地点では，過去から未来へと継続する長期間のデータが欠如している。国土交通省河川局の降水量観測でも，通年のデータが蓄積されているのは標高 1505 m の上高地までである。

(独)防災科学技術研究所雪氷防災研究センターでは，1989 年から順次，積雪気象観測網を整備している。里山地域をも対象としているため，観測地点の標高はそれほど高くはないが，積雪の研

表 4 中部山岳地域の気象官署における1月の月平均値と年累積降雪深との相関係数およびp値.

Table 4 Results of a correlation analysis between monthly mean air temperature in January and annual cumulative snowfall at each observation station.

地点名	標高 (m)	緯度	経度	1月の平均気温と累積降雪深				
				開始年	終了年	N	R	P
軽井沢	999.1	36.34	138.55	1962	2005	44	-0.128	0.409
河口湖	859.6	35.50	138.76	1954	2005	51	-0.114	0.427
諏訪	760.1	36.05	138.11	1954	2005	49	-0.354	<b>0.013</b>
松本	610.0	36.25	137.97	1954	2005	52	-0.194	0.169
高山	560.0	36.16	137.25	1954	2005	52	-0.450	<b>0.001</b>
飯田	516.4	35.52	137.82	1954	2005	52	-0.362	<b>0.008</b>
長野	418.2	36.66	138.19	1954	2005	52	-0.503	<b>0.000</b>
甲府	272.8	35.67	138.55	1954	2005	52	-0.370	<b>0.007</b>
高田	12.9	37.11	138.25	1954	2005	52	-0.750	<b>0.000</b>
富山	8.6	36.71	137.20	1954	2005	52	-0.815	<b>0.000</b>
金沢	5.7	36.59	136.63	1954	2005	52	-0.783	<b>0.000</b>

N: 年数. R: 相関係数. P: 相関分析によるp値.

太字: 有意水準1%で有意. 斜体: 有意水準5%で有意.

N: number of years. R: correlation coefficient. P: p value of correlation analysis.

Bold: 1% significance level. italic: 5% significance level.

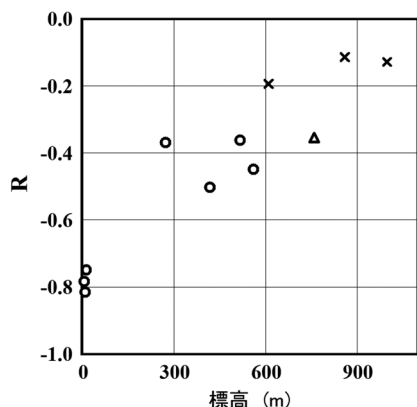


図 11 中部山岳地域の気象官署の標高と各観測地点における1月の月平均気温と年累積降雪深との相関係数の関係. 丸印: 有意水準1%以下で有意. 三角印: 有意水準5%以下で有意. x: 統計的に有意ではない.

Fig. 11 Relationship between altitudes of the observation stations and correlation coefficient for the monthly mean air temperature in January and annual cumulative snowfall. open circle: statistically significant at 1% significance level. triangle: statistically significant at 5% significance level. x: statistically not significant.

究にとって貴重なデータである。

中部山岳地域における気象観測網を整備し、高標高地点での気象観測データを蓄積する目的で、信州大学山岳科学総合研究所では、中部山岳地域の10カ所に気象観測機器を設置している。乗鞍高原の1450 mから槍ヶ岳直下の3070 mまでの標高に分布しており、気象庁による観測の空白標高をほぼ埋めている。

長期間の蓄積がある気象官署(12地点)の観測データを用いて、中部山岳地域における冬季気温と降積雪の変動傾向を検討した。その結果、富士山における年最低気温と1月の月平均気温は有意水準10%でも有意な変動傾向を示さず、軽井沢の1月の月平均気温は有意水準5%以下で有意な上昇傾向を示す。軽井沢の年最低気温および他の10地点の1月の月平均気温・年最低気温は、有意水準1%以下で上昇傾向が有意である。アメダス観測地点の野辺山では観測期間が33年と短い、年最低気温の経年変動の傾向にはほとんど変化が認められない。これらのことから、標高が高くなるに従い冬季気温の上昇傾向は不明確になる。



年累積降雪深については、海岸近くで標高の低い3地点では統計的に有意な減少傾向を示すが、内陸部の8地点では統計的に有意な変動傾向は示さないことから、中部山岳地域の内陸部では、「温暖化すると降雪量が少なくなる」とは必ずしもいえない。年最大積雪深の長期変動は、金沢と高田で統計的に有意な減少傾向を示すが、富士山では統計的に有意な増加傾向を示す。

海岸近くの標高の低い3地点（高田、富山、金沢）では、1月の月平均気温の高低によって累積降雪深が明瞭に増減するが、軽井沢、河口湖、松本では、累積降雪深の増減と1月の月平均気温との間には関連が認められない。

中部山岳地域の気象官署における観測データを用いて、冬季気温と降積雪量の長期変動傾向について検討した。その結果、海岸近くの標高の低い地点では、冬季気温の上昇傾向は疑いなく、降積雪量の減少も明瞭である。しかしながら、標高約1000 m以上の地点では、近年の冬季気温の傾向は不明確になるようである。また、内陸部の観測地点では降積雪量も統計的に有意な変動傾向を示さない。ある程度標高が高い、つまり気温が低い地点では、冬季気温の変動と降雪量の相関係数が小さくなり、単純に「温暖化すると降雪量が少なくなる」とはならないことを観測事実として認識すべきである。

地球規模での環境変動下での白い天然のダムとしての山岳地域における冬季降水の役割や、山岳生態系に対する気候変化の影響の科学的評価を可能とするためにも、さまざまな困難さはあるが、高標高地点における気象観測を継続していく必要がある。すぐには論文発表などの成果に結びつかない地道な観測研究を敬遠する傾向が、成果主義の跋扈するわが国では強くなっている。一方で、既存のデータを駆使するモデリングに関する研究が多く行われる傾向にある。しかし、現場で得られたデータなしに、信頼できる将来予測などできるはずがないことを決して忘れてはならない。

科学者の社会に対する責務としても、山岳地域における気象水文観測を実行するとともに、観測網をさらに充実すべきであると声を大にして訴え

るべきである。

## 注

- 1) <http://www1.river.go.jp/> [Cited 2012/12/3] を参照。
- 2) <http://ims.shinshu-u.ac.jp/> [Cited 2013/06/26] を参照。

## 文 献

- 阿部 修・清水増治郎 (2000): 積雪分布と気象観測資料 (2) (1992/93年-1995/96年4冬期). 防災科学技術研究所研究資料, **201**, 284p. [Abe, O. and Shimizu, M. (2000): Snowcover distribution and meteorological data (2) (4 winters of 1992/93-1995/96). *Reports of National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention*, **201**, 284p. (in Japanese with English abstract)]
- Fujibe, F. (2009): Detection of urban warming in recent temperature trends in Japan. *International Journal of Climatology*, **29**, 1811-1822.
- Fujibe, F. (2011): Urban warming in Japanese cities and its relation to climate change monitoring. *International Journal of Climatology*, **31**, 162-173.
- 藤部文昭 (2011): 日本の気候の長期変動と都市化. 天気, **58**, 5-18. [Fujibe, F. (2011): Long-term climate changes in Japan and Urbanization. *Tenki*, **58**, 5-18. (in Japanese)]
- Fujibe, F. and Ishihara, K. (2010): Possible urban bias in gridded climate temperature data over the Japan area. *SOLA*, **6**, 61-64.
- Hara, M., Yoshikane, T., Kawase, H. and Kimura, F. (2009): Estimation of the impact of global warming on snow depth in Japan by the Pseudo-Global-Warming method. *Hydrological Research Letters*, **2**, 61-64.
- Inoue, S. and Yokoyama, K. (2003): Estimates of snowfall depth, maximum snow depth, and snow pack conditions in Japan by using five global warming predicted data. *Journal of Agricultural Meteorology*, **59**, 227-236.
- IPCC (2007): *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the IPCC* edited by Solomon, S. et al., Cambridge University Press, New York, 1056p.
- Karl, T.R., Diaz, H.F. and Kukla, G. (1988): Urbanization: Its detection and effect in the United States climate record. *Journal of Climate*, **1**, 1099-1123.
- 日下博幸・西森基貴・安成哲三 (1998): 最高・最低気温偏差の季節性を利用した都市化に伴う気温上昇率の推定. 天気, **45**, 369-378. [Kusaka, H., Nishimori, M. and Yasunari, T. (1998): Estimation of the increasing rate of surface air temperature associated with urbanization by use of seasonal variations of maximum/minimum temperature anomaly. *Tenki*, **45**, 369-378. (in Japanese with English abstract)]
- 国立天文台 (2011): 理科年表平成24年. 丸善出版.

- [National Astronomical Observatory of Japan (2011): *Rika Nenpyo (Chronological Scientific Tables)*. Maruzen Publishing Co. Ltd. (in Japanese)]
- 松山 洋・谷本陽一 (2005): 実践気候データ解析. 古今書院. [Matsuyama, H. and Tanimoto, Y. (2005): *Data Analysis of Climate*. Kokon Shoin. (in Japanese)]
- 中川勝広・中北英一・鈴木善晴・大石 哲・池淵周一 (2002): TRMM/PRを用いた山岳域における地上降雨量分布推定. 水工学論文集, **46**, 31-36. [Nakagawa, K., Nakakita, E., Suzuki, Y., Oishi, S. and Ikebuchi, S. (2002): Estimation of the ground surface rainfall distributions in mountainous regions using TRMM/PR. *Annual Journal of Hydraulic Engineering*, **46**, 31-36. (in Japanese with English abstract)]
- 中北英一・沖村俊郎・鈴木善晴・池淵周一 (2002): 降雨の標高依存性を考慮した TRMM/PR 長期観測情報の有効利用. 京都大学防災研究所年報, **45**, 687-703. [Nakakita, E., Okimura, T., Suzuki, Y. and Ikebuchi, S. (2002): Advanced use of long-term observations by TRMM/PR based on dependency of rainfall on topographic elevation. *Annual of Disaster Prevention Research Institute*, **45**, 687-703. (in Japanese with English abstract)]
- Nakamura, H., Shimizu, M., Abe, O., Kimura, T., Nakawo, M. and Nakamura, T. (1997): Snow observation network for mountain area of NIED. in *Snow Engineering: Recent Advances* edited by Izumi, M., Nakamura, T. and Sack, R.L., Rotterdam, A.A. Balkema, 539-541.
- 中津留高広・林 陽生・上野健一・植田宏昭・辻村真貴・浅沼 順・日下博幸 (2011): 筑波山 (男体山) の過去 100 年間における気温の長期変化. 天気, **58**, 1055-1061. [Nakatsuru, T., Hayashi, Y., Ueno, K., Ueda, H., Tsujimura, M., Asanuma, J. and Kusaka, H. (2011): A mean annual temperature trend past 100 years at the summit of Mt. Tsukuba. *Tenki*, **58**, 1055-1061. (in Japanese with English abstract)]
- 日本河川協会 (2005): 雨量年表 (2005). 社団法人日本河川協会. [Japan River Association (2005): *Rainfall Year Book of Japan*. Japan River Association. (in Japanese)]
- Shimizu, M. and Abe, O. (2001): Recent fluctuation of snow cover on mountainous areas in Japan. *Annals of Glaciology*, **32**, 97-101.
- 清水増治郎・中尾正義・木村忠志・高見晋一・飯田壘・宮崎伸夫 (1996): 積雪分布と気象観測資料. 防災科学技術研究所研究資料, **173**, 50p. [Shimizu, M., Nakawo, M., Kimura, T., Takami, S., Iida, H. and Miyazaki, N. (1996): Snowcover distribution and meteorological data (1) (November 1991-July 1992). *Reports of National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention*, **173**, 50p. (in Japanese with English abstract)]
- Suzuki, K. (2011): Effects of global warming on climate conditions in the Japanese Alps region. in *Planet Earth 2011: Global Warming Challenges and Opportunities for Policy and Practice* edited by Carayannis, E.G., Intech, Croatia, 73-88.
- 鈴木啓助 (2012): 山岳域における雪氷水文学的研究と気象観測問題. 日本水文学会誌, **42**, 109-118. [Suzuki, K. (2012): Snow hydrological study in the mountainous area and associated problem of meteorological observation. *Journal of Japanese Association of Hydrological Sciences*, **42**, 109-118. (in Japanese with English abstract)]
- 但野裕太・田 少奮・山川修治 (2006): 日本の山岳測候所における気温・湿度の長期変動. 日本大学文理学部自然科学研究所研究紀要, **41**, 233-238. [Tadano, Y., Tian, S. and Yamakawa, S. (2006): Long-term trends of air temperature and humidity at mountainous sites in Japan. *Bulletin of the Institute of Natural Sciences, Nihon University*, **41**, 233-238. (in Japanese with English abstract)]
- 上野健一・磯野純平・今泉文寿・井波明宏・金井隆治・鈴木啓助・小林 元・玉川一郎・斎藤 琢・近藤裕昭 (2013): 大学間連携事業を通じた中部山岳域の気象データアーカイブ. 地学雑誌, **122**, 638-650. [Ueno, K., Isono, J., Imaizumi, F., Inami, A., Kanai, R., Suzuki, K., Kobayashi, H., Tamagawa, I., Saitoh, T.M. and Kondo, H. (2013): Data archive of meteorological data created through Japanese Alps Inter-University Corporation Project. *Journal of Geography (Chigaku Zasshi)*, **122**, 638-650. (in Japanese with English abstract)]
- 山口 悟・阿部 修 (2007): 平成 18 年豪雪における山地積雪の特徴—近年の山地積雪の変動の中で—雪氷, **69**, 53-59. [Yamaguchi, S. and Abe, O. (2007): Characteristics of snow in Japanese mountainous regions during heavy snowfall in 2005/2006: Data analyses over a long period. *Journal of the Japanese Society of Snow and Ice*, **69**, 53-59. (in Japanese with English abstract)]
- Yamaguchi, S., Abe, O., Nakai, S. and Sato, A. (2011): Recent fluctuations of meteorological and snow conditions in Japanese mountains. *Annals of Glaciology*, **52**(58), 209-215.
- \* Title etc. translated by K.S.