

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

上野 健一¹⁾ 磯野 純平¹⁾ 今泉 文寿¹⁾
井波 明宏²⁾ 金井 隆治³⁾ 鈴木 啓助⁴⁾
小林 元⁴⁾ 玉川 一郎⁵⁾ 斎藤 琢⁵⁾
近藤 裕昭⁶⁾

Data Archive of Meteorological Data Created through the Japanese Alps Inter-university Cooperative Project

Kenichi UENO¹⁾, Junpei ISONO¹⁾, Fumitoshi IMAIZUMI¹⁾,
Akihiro INAMI²⁾, Ryuji KANAI³⁾, Keisuke SUZUKI⁴⁾,
Hajime KOBAYASHI⁴⁾, Ichiro TAMAGAWA⁵⁾, Taku M. SAITOH⁵⁾
and Hiroaki KONDO⁶⁾

[Received 26 October, 2012; Accepted 9 February, 2013]

Abstract

Meteorological data collected at mountain sites during the period 2006–2010 were archived under the Japanese Alps Inter-university Cooperative Project (JALPS). The site managers developed the data policy, and *in situ* data with metadata sets from 28 observation sites were prepared using a uniform format on a home page. Surface temperature lapse rates, including 3000-m level station data, agreed with previous results, in which the diurnal temperature range varied depending on location and season. A preliminary analysis comparing *in situ* and reanalysis data for temperature and wind speed showed a better agreement in terms of day-to-day variability but discrepancies in the diurnal mode. An evident weakening (warming) of daytime surface wind speed (temperature) was found at stations above the 3000-m level, indicating the development of convective layers. A new concept of data archiving using a super-site network within the framework of inter-university cooperation was proposed, and the importance of environmental monitoring by means of atmosphere-land interaction in mountainous areas was verified.

¹⁾ 筑波大学生命環境系

²⁾ 筑波大学農林技術センター

³⁾ 筑波大学菅平高原実験センター

⁴⁾ 信州大学山岳科学総合研究所

⁵⁾ 岐阜大学流域圏科学研究センター

⁶⁾ 産業技術総合研究所

¹⁾ Faculty of Life and Environmental Sciences, University of Tsukuba, Tsukuba, 305-8572, Japan

²⁾ Agricultural and Forestry Research Center, University of Tsukuba, Tsukuba, 305-8577, Japan

³⁾ Sugadaira Montane Research Center, University of Tsukuba, Ueda, 386-2204, Japan

⁴⁾ Institute of Mountain Science, Shinshu University, Matsumoto, 390-8621, Japan

⁵⁾ River Basin Research Center, Gifu University, Yanagido, 501-1193, Japan

⁶⁾ National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, Tsukuba, 305-8569, Japan

Key words : mountain weather, data archive, Japanese Alps region, objective analysis data, super-site

キーワード : 山岳気象, データアーカイブ, 中部山岳域, 客観解析データ, スーパーサイト

I. はじめに

本州中部に広がる山岳域は貴重な生態系を育むとともに沿岸大都市に水資源や観光資源を供給する重要な役割を担っている。これら山岳域の熱力学的作用は周辺地域の気候・風土の形成にも大きな影響を及ぼしている。例えば、暖候期の山岳域上空における対流活動は列島スケールの水蒸気輸送や局地的降水をもたらす不安定性の形成・解消過程に日変化を引き起こし (Sato and Kimura, 2005), 山岳域で生じる顕熱加熱やフェーン現象は風下域の局所的な高温発生を促す (Takane and Kusaka, 2011)。冬季モンスーンは脊梁山脈により日本海側の多雪と太平洋側での晴天という本州特有の気候を形成することで有名だが、内陸でも複雑地形に依存した顕著な天気界が形成されている (鈴木, 2008)。中部山岳域の降積雪量変動には温帯低気圧の影響も大きく、冬季降雨の出現に広域循環場と連動した大きな年々変動があることが指摘されている (佐藤ほか, 2012)。近年は、温暖化が山岳域の生態系や観光資源に与える長期的影響の有無に関しても関心が集まっている。山岳域において将来気候の数値予測を行う難点は、複雑地形や雪氷・植生の違いなど陸面状態が大気境界層に及ぼす狭域の影響を従来の全球気候モデルではとらえきれない所にある。これらを補うために、複数のモデルや異なる境界条件に基づくシミュレーション結果を平均したり (アンサンブル平均), 計算格子点が細かく大気境界層や陸面過程のスキームも組み込まれた領域気候モデルを利用して詳細な分解能で気候を再現し (ダウンスケーリング), その結果を用いて面的な降雪・融雪量の評価を行うなどの研究が進んでいる (例えば, Yoshikane *et al.*, 2011; Ishizaki *et al.*, 2012)。山岳域の気象が周辺地域の天候変化に及ぼす影響を把握したり, これら数値実験の結果を

検証するためには、多地点でさまざまな標高帯における地上観測点で取得される複合的な観測データが不可欠となる。

日本の国土に占める標高 500 m 以上の面積は 27% となる。本州山岳域の多くが急峻な森林域で構成されている一方で、山間部の盆地を中心とする低標高域では急速な都市化が進行し、従来の農耕地も住宅地に転用されている所が多い。これらの低地から高標高域にかけて天候変化の実態を面的・長期的に把握することは、山岳環境変動に関する基盤情報を提供する意味できわめて重要である。多くの研究分野で地表付近の気象要素を標高の関数として実験式化することが定着しているが、接地境界層の構造とその変動は地表面状態に応じた陸面熱収支の変化や季節を通じて変化する森林気象の影響を強く受けており、大気陸面相互作用の観点から気象要素の標高依存性が意味する物理過程を見直す必要もあろう。内陸での高層気象観測拠点がないため、標高が高い山岳部稜線域での地上観測データで上空の気象を推定する場合も多いが、大気境界層に対する山脈の力学的影響や一般風がどのような総観場での標高帯まで影響を及ぼしているかなどを面的に把握する研究は少ない。その意味で、「稜線部で観測される気象がいったい何を測っているのか」という基本的な問いに十分な回答は得られていないのが現状である。

従来の気候学で解析対象としてきた国内の気象データは、ほとんどが標高 1000 m 以下に限定されてきた。そのため局地的な山岳気候の地理的特性を集中観測にて明らかにした研究事例は多くみられるが、前述のような大気陸面相互作用や数値実験・長期気候変動の評価に資する統合的な観測体系は少ない (鈴木, 2013)。おもな原因として、高標高地点で長期に運用されている研究拠点が少ないこと、公共施設や山小屋などでリアルタイムに観測されているデータが必ずしも記録・保存さ

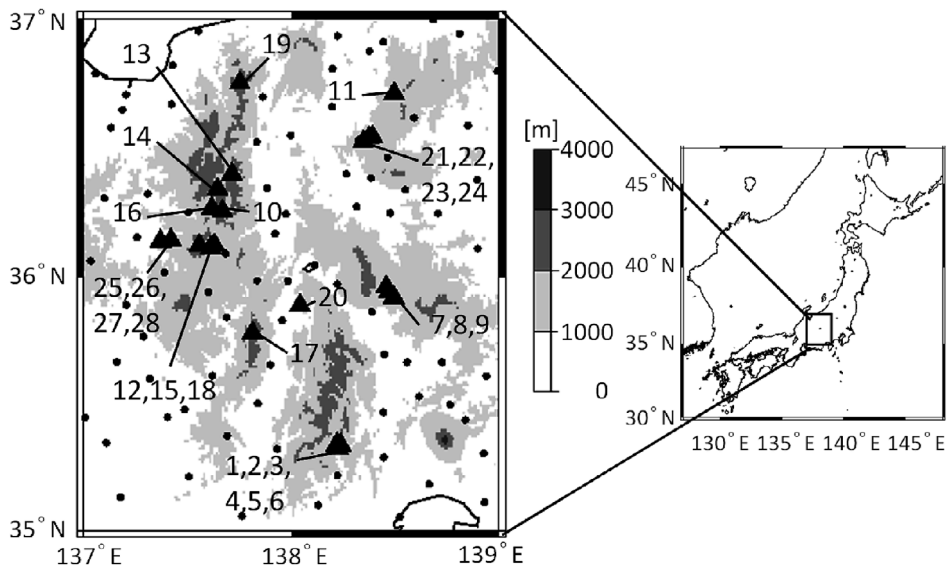


図 1 中部山岳域とデータアーカイブ地点(黒三角印). 数値は観測地点番号(表 1)に相当する. 図中の黒丸はアメダス観測地点を示す.

Fig. 1 Locations of data archive stations (black triangle) in central Japan. The number with a solid triangle corresponds to the station number in Table 1, and dots show AMedAS meteorological observation sites.

れていないこと、市町村単位や電力会社など観測を担当する部署単位でデータが保管され品質管理も不十分なため、比較解析が困難であること、などが考えられる。気象庁が配備する地域気象観測網（通称アメダス）も、例えば図 1 に示す本州中部領域では雨量以外の要素を観測している 1000 m 以上の地点が 8 地点しかなく、最高地点は野辺山の 1350 m となっている（平成 23 年時点）。近年では、観測地点の管理・維持やデータの代表性・信頼性に問題があるため、高所の地上観測拠点は縮小しウインドプロファイラーなど遠隔計測に置換する傾向がみられる。一方で、データ収録・通信機能が向上した安価な気象システムも市販されるようになり、独自の観測地点を比較的容易に設営することも可能になった。富士山山頂における大気化学成分の観測（土器屋, 2007）、森林限界以上の高所山稜部に特化した自動気象観測（浜田, 2001; 鈴木, 2012）や山小屋を利用した気象観測ネットワーク、タワー観測によるフラックス算定と森林生態系観測（村岡ほか, 2012）な

ど、目的を特化した観測拠点をプロジェクト形態や市町村単位で維持する観測形態もみられる。

新規に高所観測地点を設立し、長期に維持管理していくことは困難をきわめる。従来から散点的に運用されてきた各種の高所気象水文観測情報を共有し、植生や陸面状態、設置環境やデータの品質情報も付記した多点データを活用することで、山岳科学に関する横断的研究や教育・社会普及活動を促進させ、中部山岳域全体の環境変動に関する全体像を評価することが期待されている。既存の研究拠点を中心に実施されている観測プロジェクトを連携させ、データを共有化した国際プロジェクトの好例として世界気候研究計画 (WCRP)/ 全球エネルギー・水循環研究計画 (GEWEX)/ 統合地球水循環強化観測期間プロジェクト (CEOP) があげられる (Koike, 2004)。このプロジェクトは世界中の異なる気候帯に分布する 30 地点以上の気象・水文観測拠点をリファレンスサイトとして登録し、その直上で衛星推定値や客観解析データを収集して比較解析研究を推進した。とくに、気温、

湿度、風といった一般気象要素は基盤データとしてどの研究機関でも測定されている場合が多い。このメリットを生かし、Ueno *et al.* (2008) は茨城県つくば市周辺に集中する7機関、8か所の地点で観測された気象要素を4年分収集して日本におけるリファレンスサイトとして登録するプロジェクトを実施した。この取り組みは、異なる所轄の所有データを同一のホームページで世界的に公開する試みとしては画期的であった。ここで得られたノウハウを生かし、中部山岳地域環境変動研究機構(通称 JALPS)を利用して既存の高所気象データを統一フォーマットで収集し、比較解析に利用する試みを2011年から開始した。本誌では、データアーカイブの現状ととくに山岳気象に関連した初期解析結果を紹介し、今後の研究展望を論じる。

II. データアーカイブの現状

研究者にとって観測データは苦勞の産物、宝の山である。各大学で観測者個人が管理してきたデータを複数機関に公開すること自体が事業推進への大きな貢献となる。データはいったん公開されると一人歩きし、ユーザーも品質や利用限界を忘れがちになる。そこで、データアーカイブ作業では、データ利用に関する方針(データポリシー)を観測責任者の間で合議すること、ユーザーのためにデータフォーマットを統一すること、観測状況を説明するメタデータをサイトごとに整備すること、が重要となる。JALPSの気候変動研究グループでは、筑波大学・信州大学・岐阜大学が中部山岳域にて管轄する実験センター・演習林などで取得された気象観測データをアーカイブし、ホームページで部内公開する方針を2010年のプロジェクト委員会にて決定した。観測地点ごとにデータに責任をもつ観測責任者を決定し、データポリシーも締結した。対象とするデータ収集期間は2006~2010年の5年間とし、公開可能なデータ項目は観測責任者が決定した。観測地点によっては収集期間中に新設されたり、冬季に観測が困難で必ずしも全期間・全季節にデータが揃っていない地点もある。データの品質も原則は観測責任者が管理するが、あまり厳しく品質保証を求める

と公開作業そのものが遅延・中断する。そこで、観測状況を極力メタデータに付記するとともに、部内で公開して分析を進め、明らかになった特性や問題点を観測者にフィードバックすることでデータ品質を明らかにし、必要に応じて修正してデータセットを完成していく手順をとった。

図1に観測地点の位置を、表1に観測地点の一覧を示す。観測地点数は2012年3月時点で28地点に上り、ほとんどの地点が標高1000m以上に位置している。最高標高は信州大学が管轄する槍ヶ岳観測地点で3079mと登録されている。それぞれの観測地点はそもそも異なる目的で維持管理されているために、立地条件もさまざまである。これらはおおまかにA)稜線部に設置された孤立地点、B)演習林や実験施設内で数10kmスケール以下の現象を多地点で観測するメソ観測網、C)森林を対象とした1次元タワー観測拠点、に分類される。A)に関しては、信州大学が管理する燕岳、槍ヶ岳、乗鞍岳、西穂高岳、白馬岳、といった日本アルプスの稜線部の地点と、筑波大学が暖候期に限定して敷設している根子岳があげられる。これらの地点データは、近傍の低標高のアメダスデータなどと組み合わせて気象要素の標高依存性や一般風の影響を分析できる特徴がある。B)に関しては、岐阜大学が管轄する高山試験地と筑波大学が管轄する井川・川上・八ヶ岳演習林の観測地点があげられる。メソ領域内に多くの観測点が存在するため、空間代表性や局地循環を分析できる。広域のデータと比較解析する場合には観測地点が林内の気象を反映しているかどうかをはじめに判別する必要がある。C)に関しては、高山試験地に2ヶ所と八ヶ岳演習林に1ヶ所のタワーによる観測が実施されている。本州山岳域のほとんどが森林に覆われていることを考えると、林内外の気象を鉛直一次元で評価できる点において、これらのデータは大変貴重である。

本事業に関するホームページを構築し(図2¹⁾)、約1年かけてデータ収集を行った後、2012年4月から気候変動研究グループ内でデータの公開を開始した。データはすべてコンマ区切りのASCIIフォーマットで1時間単位に統一し、観

表 1 気象観測拠点と観測項目 (2012年3月現在).

Table 1 List of JALPS meteorological data archive stations as of March 2012.

番号	観測地点 (略称)	緯度	経度	標高 (m)	観測項目
1	井川演習林総合気象 I (IKW-AWS1)	35°19'54"	138°13'36"	1175	降水量, 気温, 湿度, 風向, 風速, 日射
2	井川演習林総合気象 II (IKW-AWS2)	35°20'54"	138°13'16"	1587	降水量, 気温, 湿度, 風向, 風速, 日射
3	井川演習林東ムタケ (IKW-EM)	35°20'24"	138°14'29"	1685	降水量, 気温, 湿度
4	井川演習林ムタケ (IKW-M)	35°20'26"	138°13'30"	1060	降水量, 気温, 湿度
5	井川演習林 2 林班 (IKW-2R)	35°20'14"	138°13'14"	1330	気温, 湿度
6	井川演習林 3 林班 (IKW-3R)	35°20'17"	138°13'10"	1400	気温, 湿度
7	川上演習林総合気象 (KAW-AWS)	35°55'10"	138°29'59"	1500	降水量, 気温, 湿度, 風向, 風速, 日射, 地温
8	八ヶ岳演習林構内総合気象 (YAT-AWS1)	35°56'38"	138°28'11"	1350	降水量, 気温, 湿度, 風向, 風速, 日射, 地温, 蒸発量, 地温プロファイル
9	八ヶ岳演習林総合気象 (YAT-AWS2)	35°57'29"	138°27'25"	1400	降水量 (林内), 降水量 (林外), 気温, 湿度, 風向, 風速, 日射
10	上高地ステーション (KAMI-AWS)	36°15'12.6"	137°40'05.8"	1530	降水量, 気温, 湿度, 風向, 風速, 日射, 気圧
11	志賀高原センター (SHIGA-AWS)	36°42'39.5"	138°29'43.3"	1620	降水量, 気温, 湿度, 風向, 風速, 日射, 気圧
12	乗鞍高原ステーション (NORI-AWS)	36°07'19.9"	137°37'47.3"	1450	降水量, 気温, 湿度, 風向, 風速, 日射, 気圧
13	燕岳 (TSUBA-AWS)	36°23'57.0"	137°42'54.6"	2634	降水量, 気温, 湿度, 風向, 風速, 日射, 気圧
14	槍ヶ岳 (YARI-AWS)	36°20'24.7"	137°38'44.0"	3079	気温, 湿度, 風向, 風速, 日射, 気圧
15	乗鞍・富士見岳 (NORI-FUJI-AWS)	36°07'13.8"	137°33'27.2"	2763	降水量, 気温, 湿度, 風向, 風速, 日射, 気圧
16	西穂高岳 (NISHIH-AWS)	36°15'55.2"	137°37'02.1"	2368	降水量, 気温, 湿度, 風向, 風速, 日射, 気圧
17	中央アルプス千畳敷 (SENJ-AWS)	35°46'39.6"	137°48'50.5"	2630	降水量, 気温, 湿度, 風向, 風速, 日射, 気圧
18	乗鞍休暇村 (NORI-KYU-AWS)	36°06'47.7"	137°36'45.4"	1590	降水量, 気温, 湿度, 風向, 風速, 日射, 気圧
19	白馬岳 (HAKUB-AWS)	36°45'07.4"	137°45'11.7"	2748	気温, 湿度, 風向, 風速, 気圧
20	手良沢山ステーション (RERAS-AWS)	35°53'15"	138°02'50"	990	気温, 湿度, 雨量
21	菅平総合気象 I (SUGAD-AWS1)	36°31'25"	138°20'52"	1320	降水量, 気温, 湿度, 風向, 風速, 日射, 日照, 気圧, 5・10・30 cm 地温, 5・30 cm 林内地温
22	菅平センター 降積雪観測サイト (SUGAD-AWS2)	36°31'25"	138°20'50"	1350	積雪深, 4 成分放射量, 気温, 湿度, 風速, 雪温, 地温
23	根子岳山頂臨時開設サイト (NEKO-AWS1)	36°32'56.88"	138°23'42.6"	2207	気温, 相対湿度, 露点温度, 風向, 風速, 最大瞬間風速, 日射
24	根子岳中腹臨時開設サイト (NEKO-AWS2)	36°32'32.34"	138°22'39.36"	1750	気温, 相対湿度, 風速
25	高山試験地庁舎前 AWS-old (TAKA-AWSOLD)	36°08'32.94"	137°25'20.4"	1342	降水量, 気温, 湿度, 日射, 地温 1, 地温 2, 地温 3
26	高山試験地庁舎前 AWS-new (TAKA-AWS-NEW)	36°08'32.94"	137°25'20.4"	1342	気温, 湿度, 風向, 風速, 精密日射量, 気圧, 雨量, 積雪深, 下向き長波放射, 管体温度
27	高山 TKC タワーサイト (TKC)	36°08'23"	137°22'15"	800	短・長波放射, 降水量, 気温, 湿度, 風向, 風速, 気圧, CO ₂ 濃度, 地表面温度, 積雪深, 地温, 体積含水率
28	Asia Flux Site 高山 TKY タワーサイト (TKY)	36°08'46"	137°25'23"	1420	CO ₂ ・顕熱・潜熱・運動量フラックス, 短・長波放射, 気温, 湿度, 風向, 風速, 気圧, 放射温度, CO ₂ 濃度, 地温, 地表面熱フラックス, 土壌水分

JALPS
気候変動グループ気象データアーカイブ

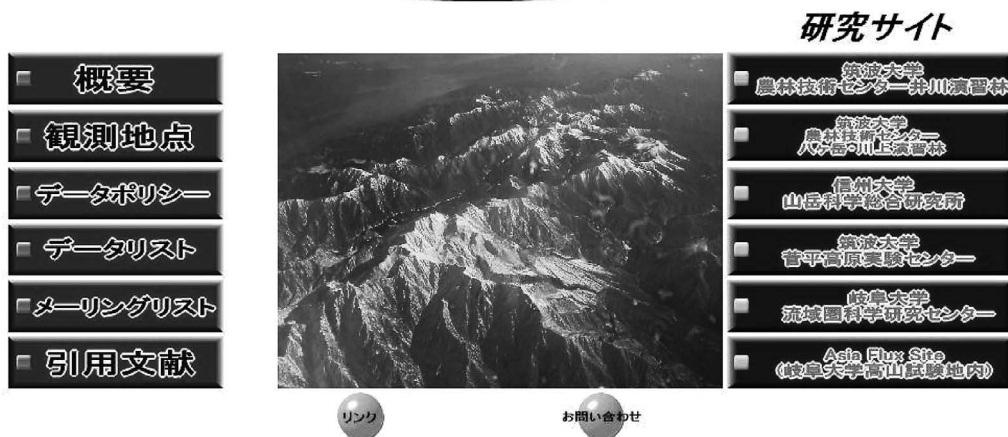


図 2 JALPS 気象データアーカイブのホームページ。

Fig. 2 Home page of JALPS meteorological data archive.

測状態を示すメタデータも付記している。今後の解析途上でデータの品質が明らかになるとともにメタデータに付加が必要な情報も洗い出され、データセットが充実していくことが予想される。

III. 気温の標高依存

本章では、各地点の気温場の特性を紹介する。各地点で共通して測定されている気象要素として、気温、湿度、降水量があげられる(表1)。このうち、降水量には冬季に着雪・冠雪による欠測や固体降水が雨量計に捕捉されにくい問題があり、湿度は気温の鉛直分布や雲・降水活動に依存して分布変動が大きい要素である。そこで、今回は月平均気温および日較差(日最低気温と日最高気温の差)の季節推移変化を地点間で比較し、標高依存性を調べた。ここで注意すべき点は、データが最長でも5年分であり、地点によっては取得期間がさらに短いため、気候値(平年値)の分析ではないことである。

まず、全地点の月平均気温変化をみると、地点間で夏場には約10℃、冬場に約15℃の幅がある。通年で最も低温で推移したのは標高が最も高い

槍ヶ岳(図1の地点番号14、以下同様)で、高温で推移したのは、夏季は標高が低い手良沢山(20)、高山TKC(27)であるが、冬季は井川(1)となる。これは冬季の内陸と太平洋側の気候の違いによるものと考えられる。日較差は通年を通じて千畳敷(17)で小さく、夏季は上高地(10)や乗鞍高原(12)、冬季は八ヶ岳(9)で大きくなった。いずれの地点も梅雨期には日較差が低下した。一方で、春季に日較差が増加する地点がみられ、観測地点周辺での積雪の有無に伴うアルベド変化も含めた地表面熱収支や開葉に伴う林内熱収支の変化が原因と考えられる。

地上気温が標高により低下する率(気温逓減率)は自由大気における気温逓減率とは異なり地域・季節や天候により大きく変化する(長谷川, 1978; 吉野, 1986)。土地被覆に依存した陸面熱収支の違いが影響を及ぼしている。とくに近傍2地点の差から算出される逓減率は大きな日変化を示す。これは山岳域そのものが引き起こす熱的循環および局所地形に依存した夜間の冷気層・冷気湖の形成を反映している。気温逓減率の日変化に関する物理過程は別途議論することとし、今回は、

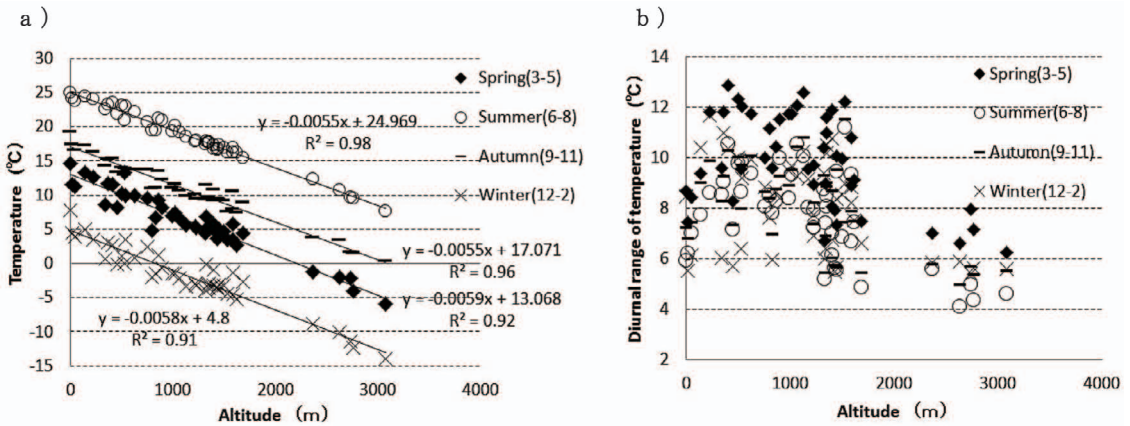


図 3 季節別にみた気温 (a) と日較差 (b) の標高依存性。

Fig. 3 Seasonal regressions of surface temperature lapse rate (a) and diurnal range (b) in relation to altitude.

季節平均でみた標高依存性を把握した。

季節平均の気温・日較差と標高の関係を図3に示す。ここでは、JALPS 観測地点以外の本州中部域に点在する低標高の AMeDAS 観測データも含めて図を作成している。まず、図から 2000 m 付近での観測地点が欠損していることがわかる。同標高帯は対象領域では樹林帯に入るため、稜線部でもなかなか観測地点を見つけるのが難しい。その意味で、根子岳 (23, 24) は山頂にかけて草原が広がり地上観測に適しているが、2010 年 7 月に観測を開始したために観測期間が十分でなく、図には反映されていない。今後のデータの蓄積を待つとともに、同標高帯を狙ったデータアーカイブ地点の拡充を検討する必要がある。標高による気温の変化傾向を一次回帰直線にあてはめると、夏季ほど直線にのり、冬季から春季にかけて地点によるばらつきが生じる。遞減率は春に $0.059^{\circ}\text{C}/\text{m}$ 、夏・秋に $0.055^{\circ}\text{C}/\text{m}$ 、冬に $0.0058^{\circ}\text{C}/\text{m}$ となり、暖候期の方がやや小さい (図 3a)。これらの値は従来の研究 (例えば、吉野, 1986) と大きな差異はない。ちなみに 500 m 以下の低標高地域の地点を除いた回帰式では冬季や春季に $0.0058 \sim 0.0059^{\circ}\text{C}/\text{m}$ と遞減率が大きくなる傾向となる。これらの季節的な特徴は、暖候期には鉛直対流が活発となる一方、冬季から春先にかけては地域によ

り積雪や逆転層の影響があること、および常緑・落葉樹の差が生じることが原因と推定される。

日較差の標高依存性をみると (図 3b)、高標高域ほど日較差が小さくなる特徴がみられるが、変換点の有無に関しては 2000 m 付近が不明なため明らかではない。一方で標高 400 m 以下の低標高域では日較差が小さくなる傾向が示されている。これは、海上からの移流の影響を受けた沿岸地点が含まれているためだと考えられる。また、標高 500 ~ 1500 m では季節間で大きなばらつきがみられ、とくに春先に日較差が大きくなる地点が存在する。今回の測定点には林内観測地点も混在しており、常緑・落葉の時期も含めて森林気象の影響に関する考察を進める必要がある。

IV. 客観解析データとの比較

広域の気候変動や総観規模の大気循環場を診断するときには、客観解析データが頻繁に利用される。客観解析データは各国の気象官署が作成・公開しており、例えば米国気象局・環境予測センター (National Centers for Environmental Prediction: NCEP)、欧州のヨーロッパ中期予報センター (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts: ECMWF) などのデータが有名である。日本では、気象庁と電力中央研究所が作成した Japa-

nese 25-year ReAnalysis (JRA-25) 長期再解析データ (Onogi *et al.*, 2007) や、気象庁メソ数値モデルによる解析値 (Meso Scale Model: MSM) がある。客観解析データの利点は一定間隔の格子点上で気象要素および物理量が配列していることで、高層気象観測が実施されていない中部山岳域上空でも作成されている。したがって、高層気象観測地点から遠隔地であっても、陸面の影響を強く受け、時として観測誤差を含む地点観測データから長期の気候変動を論じるより、物理的に整合性をとった客観解析データを使用の方が好ましい場合もある。近年では、高層気象観測データだけではなく衛星観測値や陸上データを同化させた客観解析も多く、精度が向上している一方で、グリッドスケール以下の地形や陸面状態の影響を受けた現象は再現されていない。これらを再現するために、客観解析データを境界条件として陸面スキームや境界層スキームが組み込まれた領域気象モデルによる数値シミュレーション (ダウンスケーリング) が行われることが多い。この時、環境場となる客観解析データが広域情報を正しく再現していないと、ダウンスケールした結果も現象を再現できない。そこで、以下に客観解析データと本アーカイブデータで得られた実測値の比較を試みてみた。

図 4 に、例として日本全国で猛暑となった 2010 年における暖候期の根子岳上空で解析された JRA データと山頂で実測された観測データの時間変化を示す。同年の猛暑に関する広域循環場の詳細は楠 (2012) にまとめられているが、この年は 7 月後半から太平洋高気圧の勢力が強く、8 月下旬まで西日本を中心に高温が継続したことが特徴であった。JRA データによると、同期間に一般場を代表する 500 hPa 面では移動性低気圧や台風の通過時を除いて風速は弱く高圧場となり、850 hPa での気温も 20℃ 付近の高温状態を維持した (図 4a, 矢印で示した期間)。この時の根子岳山頂 (2207 m) における気温の推移を 850 hPa における JRA データと 800 hPa における MSM データと比較した (図 4b)。ちなみに同年 8 月に標高 1350 m の菅平高原実験センターにおける平均気圧は 873 hPa で、2012 年 8 月に根

子岳山頂で測定された気圧は約 780 hPa であった。気温の絶対値は両客観解析データとも観測値より高温が解析されているが、日々の変化傾向は相対的によく一致している。ただし、7 月中旬の梅雨前線に伴う低温傾向は JRA データで再現性が悪い。一方で、観測値には顕著な日変化が存在し、とくに本州中部で梅雨明けした 7 月 17 日から秋雨前線が活発になり低標高域でも猛暑が終息する 9 月中旬まで、5℃ 以上の振幅がおもに日中の昇温により生じている。MSM データでは一段下層の 850 hPa のデータで日変化成分が出現しているが、振幅は観測値の半分以下であった (図は省略)。他の山稜地点における気温変化をみると、暖候期でも必ずしも根子岳のように日変化が顕著でない地点や期間も出現している。高所地点に出現する気温の日変化は、稜線近傍での顕熱加熱と移流の兼ね合いで生じていると考えられる。これらが次章で紹介する風系特性も含め、客観解析データから診断される日々の天候変化とどのような関係をもつかを地点別に精査することで、中部山岳域の広範囲にわたり大気循環場と陸面状態に対する熱的環境を評価できると考えている。

V. 卓越風系と日変化

暖候期の中部山岳域を中心として広域の山谷風循環が卓越することは、多くの研究により明らかとなっている (例えば、鈴木・河村, 1987)。山谷風循環は、盆地域や沿岸で発生する大気汚染物質の拡散過程や、花粉や昆虫類の輸送過程にとっても重要な風系である。従来の研究の多くは低標高域や谷間に沿った観測データを用いて風系変化を分析しているため、山岳域上空で発達する混合層との関係を評価することは難しい。一方、萩野谷ほか (1984) は標高 1500 m 以上の山頂風速データから同高度で自由大気の流れ (上空の一般風) を推定することが可能であることを明らかにしており、Ku wagata and Kimura (1997) は晴天静穏時に乱流混合層上で谷の横断面循環に伴う熱輸送の結果生じる準混合層が山脈上まで到達し水蒸気の集積を引き起こすことを数値実験により示している。実際に中部山岳を構成するような複雑地形

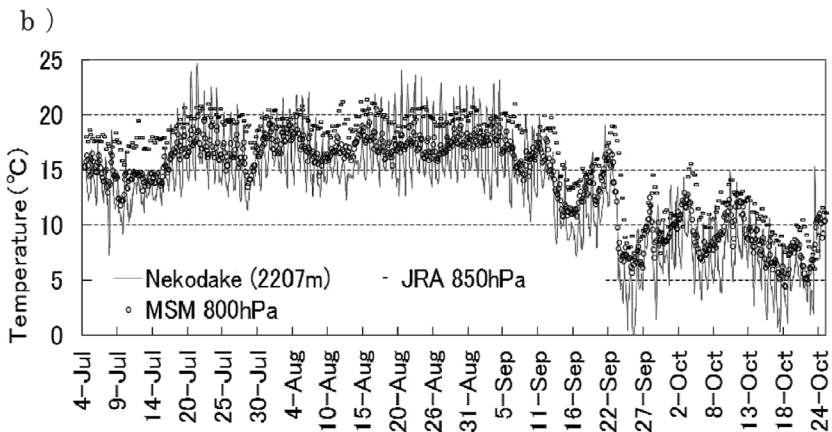
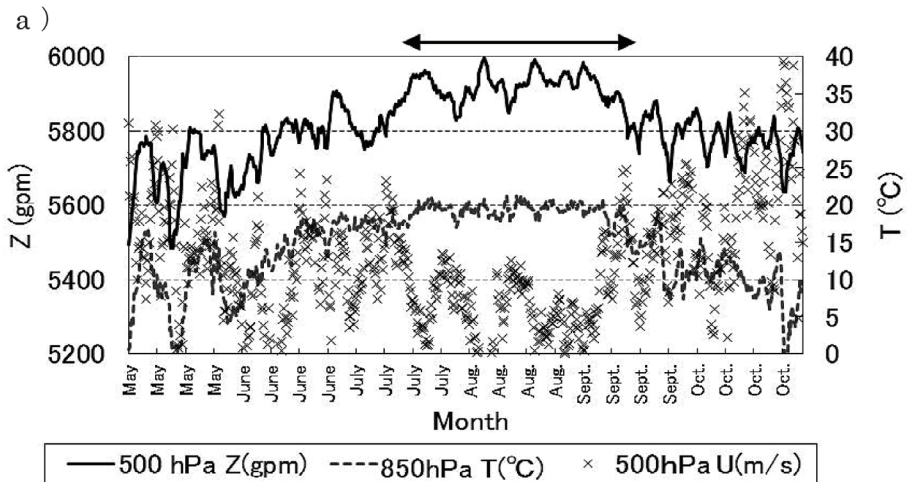


図 4 a) 2010 年暖候期における菅平近傍の格子点 (138.75°E, 36.25°N) で JRA-25 により解析された 500 hPa 気圧, 風速および 850 hPa 気温の変化と, b) 根子岳山頂で観測された 1 時間間隔の気温と JRA, MSM の比較. 高気圧が卓越し高温となった期間を図 4a 中に矢印で示す.

Fig. 4 a) Intra-seasonal variability of 500 hPa geo-potential height and 850 hPa wind speed with temperature at 138.75°E, 36.25°N from analyses of JRA-25 data during the 2010 hot season, and b) comparison between the MSM/JRA and observed temperature at Nekodake station (No. 23). An arrow in Fig. 4a indicates a period with high pressure and warm temperature.

となると山体や稜線の標高や海からの距離がさまざまであり, 気流系を谷の横断面に沿った循環と山脈に沿った下層気流の合成で混合層の発達を評価できるとは限らない。気流系のパターンも上層の総観場や雲分布と陸面加熱の兼ね合いで日々変動する。これらが MSM などの客観解析データにどの程度反映されているのかを観測データと比較しつつ分析することは興味のあるところである。

JALPS で蓄積される複数地点の高所気象データを分析することにより, これらの大気循環場の断片を明らかにできる可能性がある。

現在収集している観測地点のなかで季節を通じて風向風速データが取得されつつある地点は 19 地点あり, 夏季の特定期間のみ観測が実施されている地点が 2 地点ある。季節別のホドグラフを弱風時と強風時に分けて地点ごとに描くと, 前者

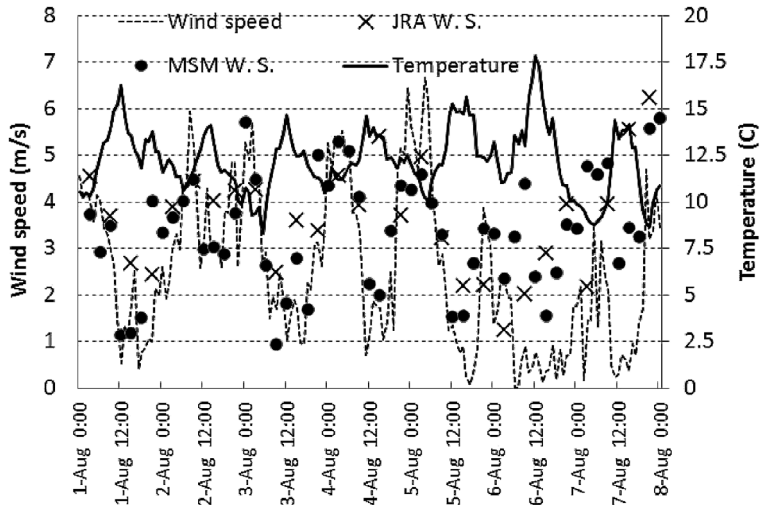


図 5 槍ヶ岳で観測された2010年8月1日から7日の気温・風速変化と同地点近傍の700 hPa面で解析されたJRAおよびMSMの風速変化。時刻は日本時間。

Fig. 5 Temperature and wind speed variability at Yarigatake station (No. 14) during the period Aug. 1-7, 2010. Wind speed data of JRA and MSM at 700 hPa are also plotted as crosses and dots, respectively. Dates are in Japan Standard Time.

では周辺の地形の走向と山谷風循環に依存して2～3方向の卓越風向が検出され、後者ではこれらの卓越風向が一方に絞られてくる傾向がみられる。後者の風向は偏西風の影響で高所ほど西風成分が卓越すると思われるが、例えば井川・千畳敷では南風、八ヶ岳では南西、菅平・高山では南南東、乗鞍休暇村では北、とさまざまである。これは、必ずしも中部山岳地域がいわゆる一般風の影響を直接受けているのではなく、大山脈の配置や走向の影響を受けた下層風系を記録していることがうかがえる。

一方、季節別に平均した風速の日変化をみると、多くの地点で日中に風速が増加する傾向が季節を問わず出現する。日中の風速増加が顕著でない地点として、高山試験地、西穂高岳、千畳敷、乗鞍富士見岳、燕岳、槍ヶ岳、西穂高岳があげられる。標高が最も高い槍ヶ岳でみられた風速の日変化を、2010年8月の第一週を例に図5に示す。観測された風速は夜間に増加する日変化を示し、日中の気温の昇温と見事に位相が反転している。このような傾向は近傍700 hPaで解析される

JRA データにはみられないが、MSM データには出現している。ただし、MSM データの絶対風速は期間後半で観測値からのずれが生じている。このような夜間に発生する強風は、日本では孤立峰である富士山頂（標高3776 m）や筑波山（標高868 m）でも観測されており（吉野, 1986; 西川, 2011）、中国の山岳データでも見いだされている（Zhang and Lin, 1992）。今回、複数の山頂域で検出された夜間の強風が境界層の日変化（例えば、近藤, 1994）とそれに伴う慣性振動（Blackdar, 1957）によるものであるとすれば、中部山岳域で広域に連続した夜間安定成層が形成されている可能性もあり、前章でみられた気温の日変化傾向とあわせて、複数地点での比較解析が望まれる。

VI. 山岳観測の展望

近年、本州全域で頻発する猛暑に伴い、避暑を兼ねた山岳域の利用が加速しているように感じられる。人間圏の山岳域への進出に伴い環境保全是ますます重要となり、リアルタイムデータの活用や多地点での長期定量データの蓄積が不可欠と

なっている。それゆえ、多くの分野のユーザーが気象データを利用し研究・評価できる観測体制と、これを長期的に効率よく運用する仕組みを考えることは急務である。今回紹介したアーカイブデータに関してはまだ駆け出しの状態、本格的な解析作業もこれから着手していかなければならない。現在、アーカイブ期間の延長も検討されている。一方で、紹介した気象観測網のみでは、例えば植生の育成環境変化や観光地での人為的影響、流域水収支や積雪域の経年変化などを把握していくことは難しい。とくに、数10年以上の長期環境変化をとらえるためには、年輪・土壌堆積物・積雪構造・撮影記録などのデータもJALPSのネットワークを利用してアーカイブする努力が必要であろう。

衛星観測により面的な情報は広範囲で取得できる一方で、各機関の努力でメンテナンスされてきた時間間隔の細かい長期にわたる点データは今後ますます貴重となる。しかし、観測拠点の管轄が異なり、測定要素もさまざまであるために、統合的な分析のためのデータセット作成には多大な苦労が発生する。将来的に数値モデルによるシミュレーション結果やリモートセンシングの検証が重要となることも視野に入れると、例えば図6のような同じメソ領域（あるいは流域）でさまざまな分野が必要とする要素を同時に観測するいわゆる「スーパーサイト」構築が考えられないものだろうか。一口に中部山岳域といっても、南北には日本海側から内陸盆地を経て太平洋側へ、東西には北関東から内陸盆地を経て近畿へ、と異なる気候が内在する。国立大学が管轄する研究センターや演習林はこれらの気候帯を横断して点在すると考えられる（図6a）。一方で、分野により観測形態は異なる。例えば気象分野ではなるべく森林キャノピーの影響を受けない圃場や稜線域での大気運動や陸面フラックスの計測を好むのに対し、森林・生態系分野では特定の群落を対象としたタワー観測や樹種・標高を変数としたプロット観測を実施する。陸域水・物質循環の観測では特定の流域を設定し、河川や斜面に沿った物理計測をおもに行う（図6b）。これらができるべく同一流域内

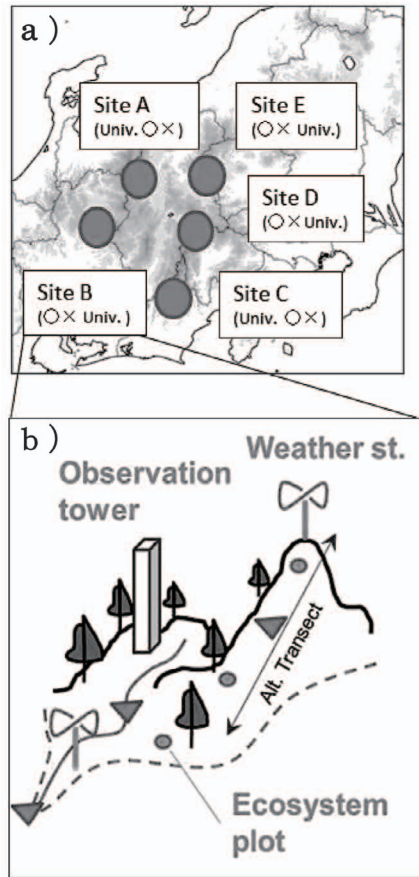


図6 スーパーサイト・ネットワーク (a) とサイト内での観測 (b) に関する構想。

Fig. 6 Idealized site distribution (a) and observation concepts (b) of super-site network.

または近傍で隣接する地域を「スーパーサイト」として登録し、それぞれの管轄大学が取得データの共有化を前提としてコンソーシアムを立ち上げることを提案したい。その際、それぞれの分野でなるべく共通して測定すべき要素や項目に関するガイドラインを設定し、各々のサイトで欠けている機材を付加していくことで、限られた予算のなかで最も効率のよい観測ネットワークを構築していくことが可能となる。観測者の研究成果保護とデータ流通を両立させるためにデータポリシーの検討も重要課題となる。今回の大学間連携事業を通じたデータアーカイブ作業が、新たな山岳観測

体系の先駆けとなることを期待したい。

謝 辞

本研究は、文部科学省特別教育研究費、地球環境再生プログラムの支援を受けて実施しています。

注

- 1) <http://www.geoenv.tsukuba.ac.jp/~jalps-atm/index.html> [Cited 2013/07/01] を参照。

文 献

- Blackdar, A.K. (1957): Boundary layer wind maxima and their significance for the growth of nocturnal inversions. *Bulletin of the American Meteorological Society*, **38**, 283-290.
- 土器屋由紀子(2007): 山岳を用いた大気汚染観測. 天気, **54**, 1003-1006. [Dokiya, Y. (2007): Atmospheric chemistry utilizing high mountains. *Tenki*, **54**, 1003-1006. (in Japanese)]
- 萩野谷成徳・近藤純正・森 洋介(1984): 山岳や谷あいの地上風速に及ぼす地形の影響. 天気, **31**, 497-505. [Haginoya, S., Kondo, J. and Mori, Y. (1984): Effect of topography on the surface wind speed over the mountainous regions. *Tenki*, **31**, 497-505. (in Japanese)]
- 浜田 崇(2001): 長野県の高山帯における気象観測の意義と実践. 長野県自然保護研究所紀要, **4**, 7-11. [Hamada, T. (2001): Significance of the monitoring meteorological elements in Alpine zone and the preliminary reports on the meteorological observation in Mt. Kisokoma and Mt. Norikura, central Japan. *Bulletin of Nagano Nature Conservation Research Institute*, **4**, 7-11. (in Japanese)]
- 長谷川 力(1978): 長野県内の山地における夏季の気温減率について. 地球科学, **32**, 41-44. [Hasegawa, T. (1978): On the lapse-rate of air temperature in summer on the mountain in Nagano Prefecture. *Earth Science (Chikyū Kagaku)*, **32**, 41-44. (in Japanese)]
- Ishizaki, N., Takayabu, I., Oh'izumi, M., Sasaki, H., Dairaku, K., Iizuka, S., Kimura, F., Kusaka, H., Adachi, S., Kurihara, K., Murazaki, K. and Tanaka, K. (2012): Improved performance of simulated Japanese climate with a multi-model ensemble. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, **90**, 235-254.
- Koike, T. (2004): The coordinated enhanced observing period: An initial step for integrated global water-cycle observations. *WMO Bulletin*, **53**, 115-121.
- 近藤純正(1994): 水環境の気象学. 朝倉書店, 368p. [Kondo, J. (1994): *Meteorology of the Water Environment-Water and Heat Balance of the Earth's Surface*. Asakura Shoten, 368p. (in Japanese)]
- 楠 昌司(2012): 日本の猛暑. 気象研究ノート, **225**, 182p. [Kusunoki, S. (2012): Extremely hot summer in Japan. *Kisho Kenkyū Note*, **225**, 182p. (in Japanese)*]
- Kuwagata, T. and Kimura, F. (1997): Daytime boundary layer evolution in a deep valley. Part II: Numerical simulation of the cross-valley circulation. *Journal of Applied Meteorology*, **36**, 883-895.
- 村岡裕由・野田 響・斎藤 琢・永井 信・奈佐原顕郎(2012): 森林生態系の光合成: 生理生態学と衛星観測の融合による長期・広域評価. 植物科学最前線, **3**, 30-45. [Muraoka, H., Noda, H., Saitoh, T.M., Nagai, S. and Nasahara, K.N. (2012): Long-term and regional scale observation of forest canopy photosynthesis by linking plant ecophysiology and satellite remote sensing. *Frontier of Plant Science*, **3**, 30-45. (in Japanese)]
- 西川明日来(2011): 筑波山周辺の異なる標高で観測された夜間下層ジェット. 筑波大学生命環境学群卒業研究, 21p. [Nishikawa, A. (2011): *Nocturnal Low-level Jet Observed above Different Sea Level with Surround Mt. Tsukuba*. Bachelor theses of School of Life and Environmental Sciences. University of Tsukuba, 21p. (in Japanese with English abstract)]
- Onogi, K., Tsutsui, J., Koide, J., Sakamoto, M., Kobayashi, S., Hatsushika, H., Matsumoto, T., Yamazaki, N., Kamahori, H., Takahashi, K., Kadokura, S., Wada, K., Kato, K., Oyama, R., Ose, T., Mannoji, N. and Taira, R. (2007): The JRA-25 reanalysis. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, **85**, 369-432.
- 佐藤香枝・上野健一・南光一樹・清水 悟(2012): 長野県菅平高原における冬季降雨の発生傾向. 水文水資源学会誌, **25**, 217-289. [Sato, K., Ueno, K., Nanko, K. and Shimizu, S. (2011): Rainfall tendency in winter Sugadairakogen Highlands, Nagano Prefecture. *Journal of Japan Society of Hydrology and Water Resources*, **25**, 217-289. (in Japanese with English abstract)]
- Sato, T. and Kimura, F. (2005): Diurnal cycle of convective instability around the central mountains in Japan during the warm season. *Journal of the Atmospheric Sciences*, **62**, 1626-1636.
- 鈴木啓助(2008): 中部山岳域の大気・水文環境. 日本生態学会誌, **58**, 175-182. [Suzuki, K. (2008): Hydro-atmospheric environment in the Japan Alps area. *Journal of Ecological Society of Japan*, **58**, 175-182. (in Japanese with English abstract)]
- 鈴木啓助(2012): 山岳地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 mountains area and associated problems of meteorological observation. *Journal of Japanese Association of Hydrological Sciences*, **42**, 109-118. (in Japanese with English abstract)]
- 鈴木啓助(2013): 中部山岳域における気象観測の現状とその意義. 地学雑誌, **122**, 553-570. [Suzuki, K. (2013): Importance of meteorological observation in the Japan Alps region. *Journal of Geography*

- (*Chigaku Zasshi*), **122**, 553-570. (in Japanese with English abstract)]
- 鈴木力英・河村 武 (1987): 夏型気圧配置時の中部日本における地上風系の特徴. *天気*, **34**, 715-722. [Suzuki, R. and Kawamura, T. (1987): Characteristics of the wind systems under typical summer condition in the Central Japan. *Tenki*, **34**, 715-722 (in Japanese)]
- Takane, Y. and Kusaka, H. (2011): Formation mechanisms of the extreme high surface air temperature of 40.9°C observed in the Tokyo metropolitan area: Considerations of dynamic foehn and foehnlike wind. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, **50**, 1827-1841.
- Ueno, K., Morimoto, T., Sugimoto, S., Asanuma, J., Haginoya, S., Takahashi, K., Okawara, N., Shimizu, A., Dairaku, K., Mano, M. and Miyata, A. (2008): Establishment of CEOP Tsukuba reference site. *Tsukuba Geoenvironmental Sciences*, **4**, 17-20.
- Yoshikane, T., Hara, M., Ma, X., Kawase, H. and Kimura, F. (2011): Simulated snow water equivalent change between the 1980s and 1990s in the sea of Japan side area using a regional climate model. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, **89**, 269-282.
- 吉野正敏 (1986): 小気候. 地人書館, 298p. [Yoshino, M. (1986): *Climate in Small Area*. Chijin Shokan, 298p. (in Japanese)]
- Zhang, J. and Lin, Z. (1992): *Climate of China*. John Wiley & Sons, Inc., 376p.
- *Title etc. translated by K.U.