

平成 30 年 6 月 27 日現在

機関番号：82109

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2017

課題番号：26750111

研究課題名(和文) 中部山岳域における積雪分布と積雪構造の把握，及び地球温暖化に伴う積雪変化予測

研究課題名(英文) Horizontal distribution of snow cover and structure and future projection of snow cover around Central Mountains in Japan

研究代表者

川瀬 宏明 (Kawase, Hiroaki)

気象庁気象研究所・環境・応用気象研究部・主任研究官

研究者番号：20537287

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：世界でも有数の豪雪地帯である中部山岳域を対象に、気象モデルを用いた降積雪の数値シミュレーションと立山黒部アルペンルートにおける積雪観測を行い、これまで把握されていなかった北アルプスの積雪の地理的分布の解明に挑戦した。異なる解像度の気象モデルを用いた数値実験から、北アルプスの積雪分布の解像度依存性を明らかにしたほか、2015/16年冬季に見られた高標高域での少雪の要因解明、標高による積雪の年々変動の違い等を明らかにした。一方、将来の気候変動予測実験の結果の解析から、地球温暖化が進行すると、全国的に冬季積算した積雪は減少するが、北アルプスにおける強い降雪は増加する可能性が高いことが分かった。

研究成果の概要(英文)：The horizontal distribution of snow amount has not been understood because of a lack of observation in the mountainous areas in Central Japan. This research observed snow cover at Tateyama-Kurobe Alpine Route and conducted numerical simulations using high-resolution regional climate model. The numerical simulations with different grid-spacings showed that the numerical model with 2 km grid-spacing were required to accurately simulate snow cover over the Japanese Northern Alps. The high-resolution numerical simulations and analysis of synoptic-scale atmospheric circulation elucidated the mechanism of small snow amounts in 2015/16 winter. The 17-years numerical simulation also clarify the altitudinal dependency of annual variation of snow cover around the Japanese Northern Alps. Analyzing future climate projections conducted by the regional climate model, total snowfall will decrease, while extremely heavy snowfall can be enhanced in the Japanese Northern Alps due to global warming.

研究分野：気象学、地域気候変動予測、降雪・積雪

キーワード：山岳積雪分布 積雪の年々変動 地域気候変化予測 非静力学地域気候モデル

1. 研究開始当初の背景

本州の日本海側の山岳域は世界でも有数の豪雪地帯として知られている。山岳域の多量の積雪は雪崩や融雪洪水などの災害を引き起こす一方、巨大な水資源としての役割も担っている。また冬季スポーツや温泉などの観光産業としても利用されている。一方、中部山岳の標高の高い山岳地域では、積雪の地理的分布がほとんど把握されていない現状がある。これは、山岳地域は冬季、連日の暴風雪に見舞われ、観測が非常に困難な状況下にあるためである。積雪の標高依存性に着目した研究はあるものの、標高依存性には地域特性や年に寄る違いも大きく、標高の低い観測点から山岳域の積雪を広域で推定することは難しい。

気象モデルを用いると、複雑な山岳地域を高解像度で計算することができ、地球温暖化に伴う将来の積雪予測も可能となる。また、積雪変質モデルを用いると、積雪の内部構造が計算でき、雪崩の危険性を示すことができる。一方、気象モデルを用いた研究で課題となるのは結果の検証である。観測データのほとんどない山岳域の積雪の再現性を検証するのは困難である。

近年、温室効果ガスの増加に伴う地球温暖化が、積雪に大きな影響を与えることが指摘されている。このため、気象モデルを用いた山岳積雪の将来予測に関する研究は、日本の中部山岳をはじめ、アメリカのロッキー山脈やヨーロッパのアルプス山脈など世界各地で行われている。いずれの研究においても、標高の低い地域で、将来、積雪が大幅に減少することが指摘されている。

2. 研究の目的

本課題では、標高 3,000m 級の高い山々が存在する中部山岳域を対象に、気象モデルや積雪変質モデルを用いた降積雪の数値シミュレーション及び現地での積雪観測を行い、これまで把握されていなかった中部山岳域の積雪の地理的分布を明らかにする。また、地球温暖化を想定した気候変動予測実験の結果を解析し、中部山岳域の積雪が将来どのように変化するかについても調査する。

3. 研究の方法

積雪観測は立山カルデラ砂防博物館及び立山黒部貫光株式会社と協力して、立山黒部アルペンルート沿いで実施した。観測点は、高原バスの起点である美女平(標高 984m)から、大観台(1,450m)、弥陀ヶ原(標高 1,850)及び室堂平(2450m)である(図 1)。美女平、大観台、弥陀ヶ原では、冬季封鎖される道路沿いのポールにタイムラプスカメラを設置し、目盛りが付いた別のポールを撮影することで積雪深の観測を試みた。室堂平においては同様の積雪観測のほか、立山カルデラ砂防博物館が 3 月下旬に、富山大学が 4 月中旬に実施している積雪断面観測の結果も用いた。

過去の降雪及び積雪を再現するため、気象庁気象研究所で開発された非静力学地域気候モデル(NHRCM)を用いた。NHRCMには陸面モデル(MJ-SiB)が実装されており、その中で積雪を計算できる。外側の境界値には気象庁 55 年長期再解析データ(JRA-55)を用い、格子間隔 20km, 5km, 2km で計算を行った。なお、低解像度から高解像度への計算は一方向であり(一方向ネスティング)、高解像度の計算結果は低解像度の計算に影響を及ぼさない。20km と 5km の格子間隔の計算では、降水を再現するために雲微物理過程と積雲対流パラメタリゼーションを併用し、2km 格子間隔の計算は雲微物理過程のみを用いた。また、気象モデルの出力データをもとに、積雪変質モデル SNOWPACK を用いて積雪の内部構造を計算した。

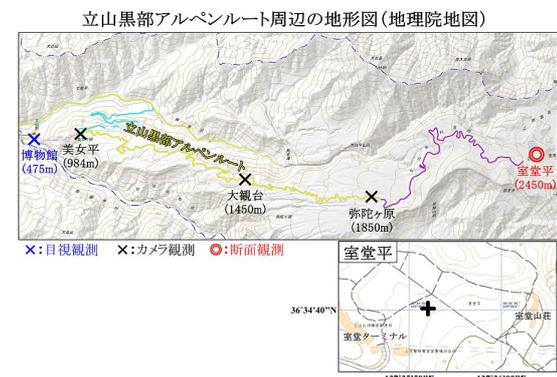


図 1. 立山黒部アルペンルートと室堂平の観測点の場所と地形図。国土地理院の地理院地図を使用し、観測点を加筆した。

一方、積雪及び降雪の将来予測は、文部科学省気候変動リスク情報創生プログラムで実施した「地球温暖化対策に資するアンサンブル気候予測データベース(d4PDF)」の領域版の結果をもとに行った。領域版の作成に用いた気象モデルは上記で説明した NHRCM である。格子間隔が 20km と粗いが、過去再現実験が 61 年 50 アンサンブル(計 3050 年)、将来予測実験が 61 年 90 アンサンブル(計 5490 年)存在するため、豪雪や豪雨、台風等の稀にしか起こらない極端な現象を扱うときには有用である。なお、d4PDF の将来気候は産業革命以前から約 4 度上昇した気候を想定している。

4. 研究成果

図 2 に 3 月下旬に立山カルデラ砂防博物館によって観測された積雪深と、同日に気象モデルによって再現された積雪深の年々変動を示す。気象モデルは積雪深をやや過大評価しているものの、2km, 5km 格子のいずれも年々変動をよく再現していた(相関係数は 0.767 と 0.717)。図 3 に本課題で観測した 2014/15 年冬季の弥陀ヶ原と大観台における積雪深と、気象モデルによって再現された積雪深の日々の変化を示す。大観台、弥陀ヶ原

ともに積雪深の日変動はよく合っていた．特に大観台では，2km 格子間隔の気象モデルが観測された日々の積雪変化を非常によく再現していることがわかる．一方，弥陀ヶ原では日々の変動はよく再現しているが，モデルはやや過大評価であった．特に5kmの気象モデルは，春先に10mを超える積雪を計算しており，観測に比べると2倍近い誤差があることがわかる．

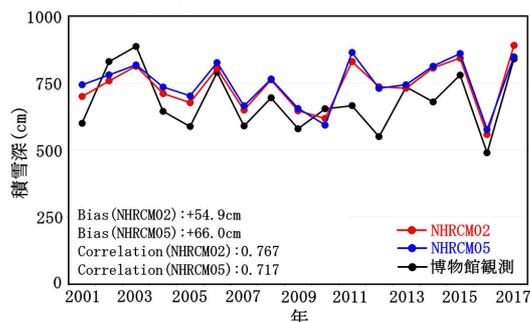


図 2. 室堂平において3月下旬に観測された積雪深と気象モデルによって再現された積雪深の年々変動．黒線が観測，赤線が2kmの気象モデル，青線が5kmの気象モデル．

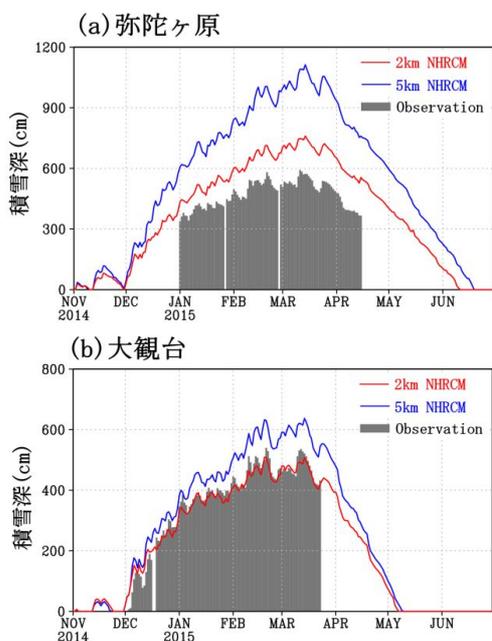


図 3. 2014/15年にタイムラプスカメラによって観測された積雪深と気象モデルにより再現された積雪深の比較．灰色棒グラフは観測．青実線は5km，赤実線は2kmの気象モデルの結果．(a) 弥陀ヶ原，(b) 大観台．

5kmの気象モデルが弥陀ヶ原付近の積雪を過大評価した要因を調査したところ，冬季，日本海上や沿岸部に降水をもたらす対流セルは規模が小さく，5km 格子間隔の気象モデルでは積雲対流パラメタリゼーションを用いたとしても再現が困難であることが分かった．このため，5kmの気象モデルでは日本海上で雨や雪を降らせることができず，水蒸

気を多く保持したまま空気塊が北アルプスにぶつかり，日本海側斜面に多くの降水をもたらすことになる．その結果，日本海側斜面で降雪量が増加し，現実よりもかなり多くの積雪が再現されることが分かった．一方，2kmの気象モデルでは日本海上の対流セルが現実に近い形で再現され，結果的に北アルプスの積雪分布の再現性も向上したといえる．今回の結果から，北アルプスの積雪分布を再現するためには，2km 格子間隔以下の高解像度気象モデルを使用する必要があることが分かった．

ところで，図1を見ると，2016年3月下旬は他の年と比べて積雪がかなり少ないことがわかる．ただ，この年は標高が低い美女平や富山アメダスでは，特に顕著な少雪ではなかった．この要因について再現実験を分析したところ，2015/16年冬季は中部山岳域で3月の降水量が顕著に少なかったことが分かった．気温が上がる3月は低標高域では積雪の涵養期ではなくなるが，標高2450mの室堂平では積雪の涵養期にあたる．このため，3月の少ない降水がそのまま降雪，積雪の過少に影響したといえる．JRA-55の解析から，2016年3月は冬型が弱く，冬季季節風に伴う降雪が少なかったうえ，低気圧活動も弱かったため，顕著な降水過少となったことが分かった．なお，2016年冬はエルニーニョが発達した年であるが，エルニーニョと3月の降水過少の間には明瞭な関係は見られなかった．

NHRCMによって計算された気象要素をSNOWPACKに入力し，積雪構造の変化を計算した．図4に美女平と大観台における計算結果を示す．平成18年豪雪として知られる2005/06年冬季と雪が少なかった2006/07年冬季の結果を示す．

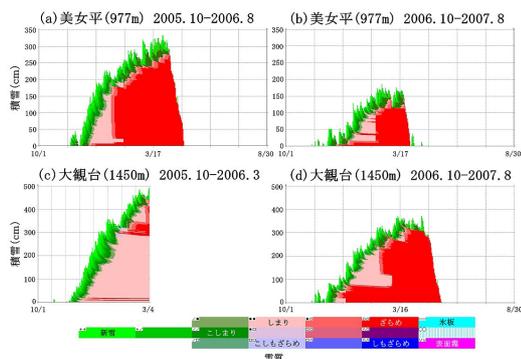


図 4. 2kmのNHRCMの計算結果を基にSNOWPACKで計算した積雪の内部構造．(a-b) 美女平，(c-d) 大観台．(a, c) 2005/06年，(b, d) 2006/07年．(c)は3月4日まで描写．

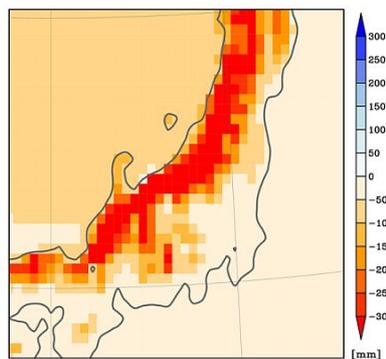
美女平では多雪年と少雪年の特徴がよく再現されている．2005/06年は最大積雪深が300cmを超え，4月末まで雪が残った．一方，2006/07年は最大積雪深が180cm程度であり，3月末に消雪した．2006年は1月16日頃から積雪内部に水が入り始め，2月2日頃に新

雪の層を除く下層がざらめ化, 2007 年は 2 月 10 日頃に水が流れ込み, 新雪以外の層がざらめ化した。一方, 大観台では 2005/06 年の計算において積雪が 500cm を超えたあたり (3/4) に計算が停止した。2006/07 年の積雪の内部構造の変化を見ると, 大観台では 12 月末, 2 月初めに積雪内部への水の流れ込みに伴い, 部分的にざらめ化が起こり, 3 月 6 日頃に新雪を除いて全層がざらめ化した。

積雪が 500cm あたりを超えた際に SNOWPACK の計算が停止する事案は他の地点や年によっても発生し, 大観台より標高の高い弥陀ヶ原や室堂平では, ほとんどの年で最大積雪深の時期まで計算することができなかった。この現象は本課題では解決することができなかったため, 今後の研究で SNOWPACK のパラメータあるいは本体の改良等が必要となる。

最後に, 地球温暖化に伴う中部山岳域の降雪量の将来予測の結果を示す (図 5)。11 月から 3 月の 5 ヶ月積算した降雪量は, 中部山岳を含め中部地方全域で減少する。一方, 10 年に一度起こるような稀な大雪については, 北陸地方の内陸部や北アルプスで増加する可能性が高いことが明らかとなった。

11月～3月の総降雪量(気候値)の変化



10年に1度の大雪(日降雪量)の変化

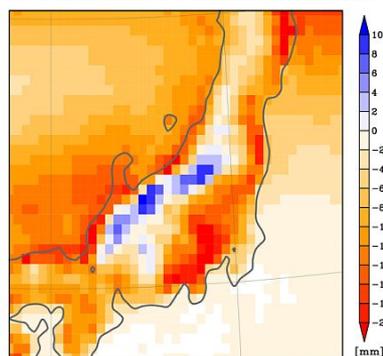


図 5. 降雪量の将来変化。雪を水に換算した量(mm)で示す。(上段)11月から3月の期間で積算した降雪量,(下段)10年に一度の日降雪量。寒色が増加, 暖色が減少。

図 6 に北陸地方の内陸部のモデル格子で, 現在気候と将来気候の日降雪量上位 50 事例を平均した降水量分布, 及び将来変化を示す。北陸地方の内陸部で強い降雪が発生する時は, 北西風が卓越し, さらに日本海に風の収

束域ができ,それが北陸地方にかかる時である(図 6a)。この収束帯は日本海寒帯気団収束帯(JPCZ)と呼ばれ,北陸地方から山陰地方に大雪をもたらすことがある。現在気候と将来気候の差を見ると,この収束帯付近で降水量(降雨量+降雪量)が増加することが分かる(図 6b)。地球温暖化に伴う海面水温及び気温上昇によって大気中の水蒸気量が増え,それが JPCZ に集まるために対流が活発化し,JPCZ 付近で特に降水量が増加したといえる。一方,降雪量のみに着目すると,日本海や北陸地方の沿岸部では減少している(図 6c)。これらの地域では,地球温暖化に伴う気温上昇により,降水量が増えたとしても雪ではなく,雨で降ってしまうため,降雪量としては減少することになる。

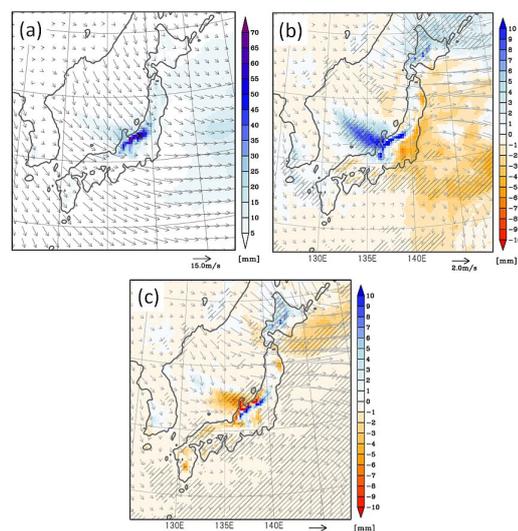


図 6. (a) ×印の格子における日降雪量上位 50 事例(現在気候)を平均した日積算降水量と日平均地上風。現在気候上位 50 事例と将来気候上位 50 事例の(b)降水量と(c)降雪量の差。寒色系(暖色系)は将来気候で増加(減少)する場所。

本課題により,これまで把握されていなかった中部山岳の主に北アルプスの積雪及び降雪の地域分布が明らかとなった。また,地球温暖化に伴い,山岳域では総降雪量が減少したとしても極端に強い降雪は増える可能性が指摘された。この結果は,今後,地球温暖化の適応策を検討していく上で,極めて重要な結果であると言える。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 5 件)

Kawase, H., A. Yamazaki, H. Iida, K. Aoki, H. Sasaki, A. Murata, and M. Nosaka, 2018: Simulation of extremely small amounts of snow observed at high elevations over the Japanese Northern

Alps in the 2015/16 winter. SOLA, 14, 39-45. 査読有り

Kawase, H., T. Sasai, T. Yamazaki, R. Ito, K. Dairaku, S. Sugimoto, H. Sasaki, A. Murata, and M. Nosaka, 2018: Characteristics of synoptic conditions for heavy snowfall in western to northeastern Japan analyzed by the 5-km regional climate ensemble experiments. J. Meteor. Soc. Japan, 96. 査読有り

Kawase, H., A. Murata, R. Mizuta, H. Sasaki, M. Nosaka, M. Ishii, and I. Takayabu, 2016: Enhancement of heavy daily snowfall in central Japan due to global warming as projected by large ensemble of regional climate simulations. Climatic Change, 139, 265-278. 査読有り

Kawase, H., C. Suzuki, N. N. Ishizaki, F. Uno, H. Iida, and K. Aoki, 2015: Simulations of Monthly Variation in Snowfall over Complicated Mountainous Areas around Japan's Northern Alps. SOLA, 11, 138-143. 査読有り

Kawase, H., H. Sasaki, A. Murata, M. Nosaka, and N. N. Ishizaki, 2015: Future changes in winter precipitation around Japan projected by ensemble experiments using NHRCM. J. Meteor. Soc. Japan, 93, 571-580. 査読有り

[学会発表](計 18件)

Kawase, H., H. Sasaki, A. Murata, M. Nosaka, I. Takayabu, R. Ito, K. Dairaku, T. Sasai, T. Yamazaki, S. Sugimoto, S. Watanabe, M. Fujita, S. Kawazoe, Y. Okada, M. Ishii, and R. Mizuta, Future projections of total snowfall and heavy daily snowfall in Japan simulated by large ensemble regional climate simulations, AGU Fall Meeting, New Orleans, Dec. 11-15, 2017.

Kawase, H., H. Sasaki, A. Murata, M. Nosaka, I. Takayabu, R. Ito, T. Sasai, T. Yamazaki, and S. Sugimoto, Future changes in extremely heavy winter precipitation around Japan projected by regional climate models, AOGS 2017, Singapore, Aug. 7-11, 2017.

Kawase, H., H. Sasaki, A. Murata, M. Nosaka, I. Takayabu, R. Mizuta, M. Ishii, K. Dairaku, and R. Ito, High-resolution regional climate simulations for future climate projection in Japan and collaborations with Southeast Asia, The 4th Workshop of the Southeast Asia Regional Climate Downscaling (SEACLID)/CORDEX Southeast Asia Project, Hanoi, Vietnam,

Nov. 23-25, 2016.

Kawase, H., H. Sasaki, A. Murata, M. Nosaka, I. Takayabu, T. Aoyagi, R. Ito, Challenges of convection-permitting regional climate simulations for future climate projection in Japan - Program for Risk Information on Climate Change, SOUSEI program -, GEWEX Convection- Permitting Climate Modeling Workshop, Boulder, Sep. 6-8, 2016.

Kawase, H., H. Sasaki, A. Murata, M. Nosaka, I. Takayabu, Future changes in extreme snowfall in Japan projected by large ensemble regional climate experiments, The International Conference on Regional Climate: CORDEX2016, Stockholm, May 17-20, 2016. Kawase, H., H. Sasaki, A. Murata, M. Nosaka, I. Takayabu, and N. N. Ishizaki, Future projection of extreme snowfall in Japan - one example of analysis of d4PDF -, CORDEX-EA Science Workshop, Beijing, Nov. 25-26, 2015.

Kawase, H., H. Sasaki, A. Murata, M. Nosaka, I. Takayabu, and N. N. Ishizaki, Future changes in extreme daily snowfall in Japan projected by large ensemble regional climate experiments, International WS on DS2015, Tsukuba, Oct. 5-7, 2015.

Kawase, H., H. Sasaki, A. Murata, M. Nosaka, and N. N. Ishizaki, Future changes in winter precipitation and their uncertainty simulated by NHRCM ensemble experiments in Japan, AOGS 12th Annual Meeting, Singapore, Aug. 3-7, 2015.

川瀬宏明, 佐々井崇博, 山崎剛, 伊東瑠衣, 大楽浩司, 杉本志織, 佐々木秀孝, 村田昭彦, 野坂真也, 日本における極端に強い降雪発生時の総観場の特徴とその地域特性, 2017年10月, 気象学会秋季大会, 北海道.

川瀬宏明, 飯田肇, 青木一真, 佐々木秀孝, 村田昭彦, 野坂真也, 前田修平, 山崎哲, 中部山岳域で観測された2015/16年冬季の顕著な少雪の再現実験と要因分析, 2017年9月, 雪氷研究大会, 十日町.

川瀬宏明, 飯田肇, 青木一真, 山崎哲, 佐々木秀孝, 村田昭彦, 野坂真也, 前田修平, 中部山岳域で観測された2015/16年冬季の顕著な少雪の再現実験と要因分析, 2017年5月, 気象学会春季大会, 東京.

川瀬宏明, 飯田肇, 青木一真, 立山黒部アルペンルートにおける2014/15冬季の積雪観測と気象モデルを用いた再現実験, 2016年9月, 雪氷研究大会, 名古屋.

川瀬宏明, 佐々木秀孝, 村田昭彦, 野坂

真也，高菰出，石崎紀子，4 上昇した
気候下での日本の極端降雪の変化，2015
年 11 月，気象学会春季大会，京都。

川瀬宏明，佐々木秀孝，村田昭彦，野坂
真也，高菰出，石崎紀子，降雪強度別に
見た日本海沿岸部と内陸部の日降雪量の
将来変化，2015 年 9 月，雪氷研究大会，
松本。

川瀬宏明・佐々木 秀孝・村田 昭彦・野
坂 真也・鈴木 智恵子・石崎 紀子・青木
一真，飯田肇，中部山岳域における積雪
分布の把握と将来予測，2015 年 5 月，気
象学会春季大会，つくば。

川瀬宏明・佐々木 秀孝・村田 昭彦・野
坂 真也・石崎 紀子，NHRCM20 のアンサ
ンプル実験による冬季日本海側における
降水量の将来予測，2014 年 11 月，気象
学会秋季大会，福岡。

川瀬宏明・鈴木智恵子・木村富士男・飯
田肇・青木一真，中部山岳における積雪
の年々変動の再現実験とその要因分析 -
近年 3 冬季の比較から - ，2014 年 9 月，
雪氷研究大会，八戸。

川瀬宏明・佐々木 秀孝・村田 昭彦・野
坂 真也・石崎 紀子，NHRCM20 のアンサ
ンプル実験による冬季日本海側における
降水量の将来予測，2014 年 11 月，気象
学会秋季大会，福岡。

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況(計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

川瀬 宏明 (KAWASE, Hiroaki)
気象庁気象研究所・環境・応用気象研究

部・主任研究官

研究者番号：20537287

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：

(4) 研究協力者

飯田 肇 (HAJIME Iida)

立山カルデラ砂防博物館・学芸課長

青木 一真 (KAZUMA Aoki)

富山大学・理学部・教授

平島 寛行 (HIROYUKI, Hirashima)

防災科学技術研究所・雪氷防災研究センタ
ー・主任研究員

馬 變鈞 (XIEYAO Ma)

Nanjing University of Information Science
& Technology