

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 13 日現在

機関番号：13501

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2013

課題番号：24710204

研究課題名(和文) 冬季の南岸低気圧に伴う層状性降水システム内の降雪と降雨の判別に関する研究

研究課題名(英文) Study on determination of rain or snow in a stratiformed precipitating system associated with an extratropical cyclone off the south coast of Japan in winter season

研究代表者

佐野 哲也 (SAN0, Tetsuya)

山梨大学・医学工学総合研究部・助教

研究者番号：90533589

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円、(間接経費) 990,000円

研究成果の概要(和文)：冬季の日本列島の太平洋沿岸では、南岸低気圧に伴う層状性降水システムにより、降雨または降雪がもたらされる。本研究では、甲府盆地と静岡域を対象に、冬季の南岸低気圧に伴う層状性降水システムの構造とそれがもたらす降雨または降雪時の気象場を解析し、降雨と降雪の判別の可能性を検討した。

降雨と降雪の判別は、複数台のX-バンドマルチパラメータレーダーの3次元観測による、降水システム中のブライトバンド(融解層)の高度とその上層の雪または氷粒子の層の地表への落下の監視により、適切に行える可能性が示唆された。また、南岸低気圧の下層の循環場と降水システム到達前の地上気象場の監視の充実化も必要であることが示唆された。

研究成果の概要(英文)：A stratiformed precipitating system associated with an extratropical cyclone off the south coast of Japan in winter season often brings rainfall or snowfall to areas along Pacific Ocean of Japan. In this study, the structure of the stratiformed precipitating system and the meteorological conditions with rainfall or snowfall brought by the precipitating system were analyzed. Then, the probability of determination of rain or snow in the stratiformed precipitating system was discussed.

The three-dimensional observations of the height of melting layer and the falling to surface of the layer with snowflakes and ice particles above the brightband by X-band multi-parameter radars are expected to determine rainfall or snowfall in the stratiformed precipitating system adequately. Additionally, it is also necessary to observe a circulation at the lower layer of the extratropical cyclone and meteorological conditions just before the arriving of the stratiformed precipitating system.

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：社会・安全システム科学 自然災害科学

キーワード：南岸低気圧 降水システム 降雪 降雨 X-バンドマルチパラメータレーダー

1. 研究開始当初の背景

冬季に日本列島の太平洋南岸を通過する温帯低気圧(以下、南岸低気圧)の温暖前線帯で形成される層状性降水システムの通過に伴い豪雪が発生する。層状性降水システム内では、その中で形成された雪片が落下し、融解層の通過時に融解し、雨滴として落下する。しかしながら、層状性降水システムによりもたらされる豪雪の形成過程については、不明な点が多い。

また、このような科学的興味の一方で、社会的要請において自治体や交通機関の雪害対策の意志決定に、降雪か降雨かといった簡潔な情報が重要視される。特に日本の太平洋沿岸に多く分布する主要都市は、雪による事故や交通網のマヒなど大きな被害が生じることがある。さらにこの地域は南岸低気圧通過時に、降雨から降雪へ、または降雪から降雨へ変遷することがしばしば生じ、降雪または降雨の判断を難しくする。

2. 研究の目的

南岸低気圧の通過に伴い、地表に降雨と降雪をもたらす層状性降水システムの雲物理学的構造の解明を目的とする。そして、その結果に基づいた降雪と降雨を簡潔に判別する手法の提案を最終目標とする。

3. 研究の方法

解析対象として、甲府盆地を主な対象地域とした(図1)。甲府盆地は、標高約300mに位置し、周囲を、南側の標高3,776mの富士山をはじめとして、標高1,000~2,000mの山岳に囲まれる。また甲府盆地南側の山岳の南方斜面は、駿河湾を有した静岡域にあたる。

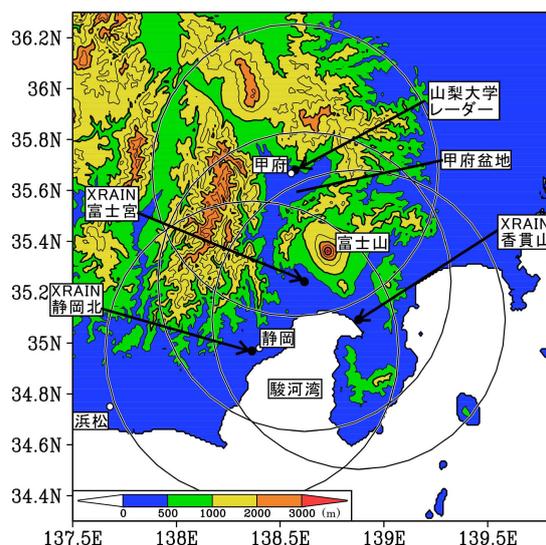


図1 解析対象地域の地形分布と、X-MP レーダーの設置位置とそれぞれの観測範囲。

冬季にあたる12月から3月までにかけて、南岸低気圧が通過するとき、静岡域では降雨、甲府盆地では降雪が生じることがある。このことについて、南岸低気圧の通過に伴う甲府盆地の降雪と静岡域の降雨の出現頻度等を解析し、その実態と傾向を解明した。

山梨大学では、甲府盆地上にある本学甲府キャンパスに X-バンドマルチパラメータレーダー(X-MP レーダー)を設置し、甲府盆地内の降水を対象とした常時観測を実施している。また国土交通省では、豪雨の監視を目的として、広域にわたる X-MP レーダー観測(XRAIN)を実施している。そのうち、駿河湾を中心とした静岡域での降水を対象として、3台の X-MP レーダーによる常時観測が実施されている。本研究では、甲府盆地と静岡域を通過する南岸低気圧に伴う降水システムを対象に、4台の X-MP レーダーによる観測データを主として、その構造を解析した。

南岸低気圧に伴う降水システムの解析には、X-MP レーダーの観測データの他に、気象庁の C-バンドレーダー、地上気象観測、高層気象観測などのデータを用いた。

以上の解析結果から、南岸低気圧に伴う南岸低気圧に伴う降雨と降雪の判別の可能性について検討した。

4. 研究成果

(1) 南岸低気圧に伴う甲府での降雪と静岡での降雨の出現頻度

表1に、12月から3月までの南岸低気圧の通過とそのうちの甲府の降雪と静岡の降雨のそれぞれの事例数、そして甲府での期間最大積雪深を示す。解析は、2009~2010年、2010~2011年、2011~2012年、2012~2013年、2013~2014年の5シーズンを対象とした。

表1 各シーズンの12月から3月までの南岸低気圧の通過とそのうちの甲府の降雪と静岡の降雨のそれぞれの事例数、そして甲府での期間最大積雪深。

	南岸低気圧の通過	甲府:降雪、静岡:降雨	甲府の期間最大積雪深
2009-2010	18	3	10cm
2010-2011	11	2	6cm
2011-2012	12	1	7cm
2012-2013	13	5	10cm
2013-2014	13	5	114cm

南岸低気圧の通過は、各シーズンにおいて10事例以上あり、2009~2010年では18事例と特に多かった。そのうちの甲府で降雪、静岡で降雨が観測された事例数について、2012~2013年と2013~2014年の13事例中5事例が最も多く、2011~2012年の12事例中1事例が最も少なかった。それぞれの甲府の降雪事例について、2009~2010年から2012~2013年までのシーズン毎の期間最大積雪深は、6~10cmであった。2013~2014年については、2014年2月14日と15日の記録的な豪雪により、期間最大積雪深は114cmであった。

以上から、南岸低気圧に伴い甲府で降雪、静岡で降雨が観測される事例数は、南岸低気圧の通過の事例数に対して少ない。しかし、2013~2014年については記録的な積雪であったとしても、ひとたび降雪が生じると深い積雪をもたらすことがあることが分かった。

(2) X-MP レーダーによる観測状況

2012~2013 年の南岸低気圧に伴う降水のすべての事例について、4 台の X-MP レーダーによって観測され、そのデータを取得することに成功した。また 2013~2014 年についても、一部欠測はあったものの、ほとんどの事例についての観測とそのデータの取得に成功した。

(3) 事例解析 1: 甲府での降雪と静岡での降雨の事例

2013 年 1 月 14 日に、南岸低気圧が日本列島の南海上を発達しながら東北東進した(図 2)。気象庁気象官署甲府では、03JST(JST: 日本標準時)頃から降雨を観測した(図 3 上段)。その後 06JST から降雪を観測し、さらに 07JST から積雪を観測し、最大積雪深は 10cm に達した。また 15JST 頃に再び降雨を観測した。一方気象官署静岡では、03JST 頃から降雨を観測し、その間降雪は観測されなかった(図 3 下段)。

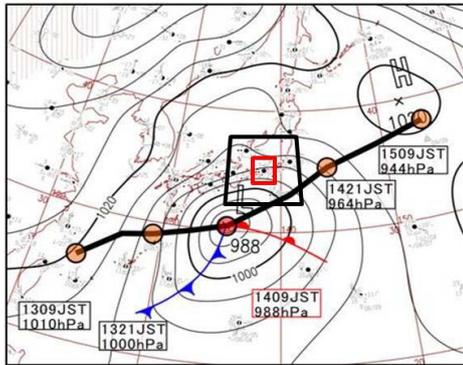


図 2 2013 年 1 月 14 日 09JST の地上天気図と、対象とした南岸低気圧の経路。図中の黒色(赤色)の四角は図 3(図 1)で示される領域を指す。出典は気象庁である。

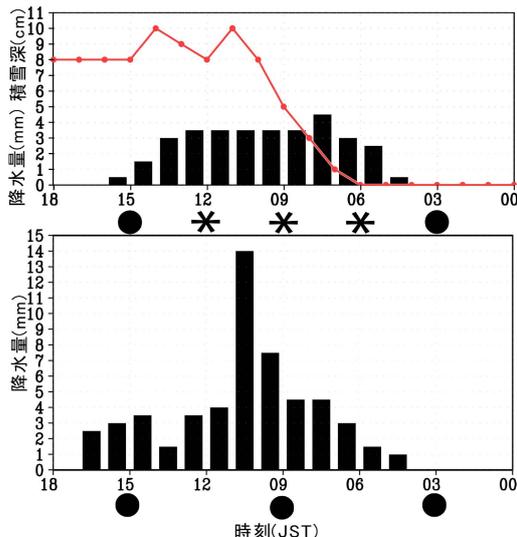


図 3 上段: 気象官署甲府の気象概況と積雪深(●)印付赤線)、降水量(黒棒)の時間変化。下段: 気象官署静岡の気象概況と降水量(黒棒)の時間変化。

図 4 は、09JST の気象庁 C-バンドレーダーで観測された降水強度の分布、各気象庁気象官署の気象概況、そして高層天気図から解

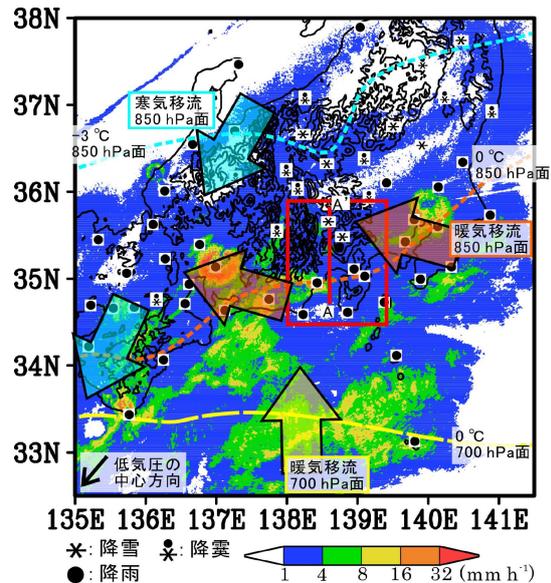


図 4 2013 年 1 月 14 日 09JST の気象庁 C-バンドレーダーで観測された高度 2km 付近の降水強度の分布。図中の水色(橙色)の短い破線と矢印はそれぞれ 850hPa 面天気図から解析された -3°C(0°C)線と寒気移流(暖気移流)の方向を示す。黄色の長い破線と矢印は 700hPa 面天気図から得られた 0°C と暖気移流の方向を示す。

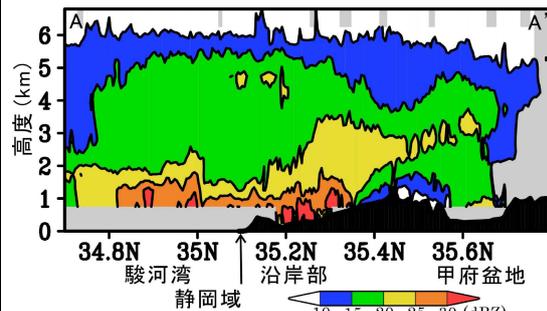


図 5 図 3 中の線分 A-A'における、X-MP レーダーで観測された反射強度( $Z_H$ )の鉛直分布。黒色の陰影は地形を示す。灰色の陰影は NoData の領域を示す。

析した等温線と、暖気または寒気移流の風向を示す。南岸低気圧の北東象限にて降水システムが広がり、甲府盆地と静岡域はそれに覆われた。このとき、気象官署静岡では降雨、気象官署甲府では降雪を観測した。

09JST の 850hPa 面の高層天気図から、においてシステムの東側では東南東からの 0°C 以上の空気を伴った暖気移流を、西側では北東からの -3°C 以下の空気を伴う寒気移流を伴っていた。また 09JST の高層気象観測から、浜松では高度 1.5~2km に、館野では高度 1km 付近に、輪島では高度 0.7km 付近に 0°C 層が存在したことが分かった。

図 5 は図 4 の線分 A-A'での X-MP レーダーで観測された反射強度( $Z_H$ )の鉛直分布である。これを見ると、静岡域では高度 2km 以下に大きい  $Z_H$  が見られた。高層気象観測で得られた 0°C 高度から、この大きい  $Z_H$  の領域はブライトバンド(融解層)であると言える。甲府盆地を見ると、高度 2km 以上、即ちブライトバンドよりも上層にある小さい  $Z_H$  が盆地に向かって落下していた。盆地内ではやや大

さい  $Z_H$  が見られたが、静岡域で見られたブライトバンドよりも小さかった。

以上から、静岡域では降水システム上層の雪片や氷粒子が融解し降雨となったこと、甲府盆地では雪片や氷粒子が融解せずに落下したため降雪となったと考えられる。

気象官署甲府にて見られた降雨から降雪への変化の過程を調べるため、甲府盆地上空の降水システムの構造の変化と地上気象場を解析した。

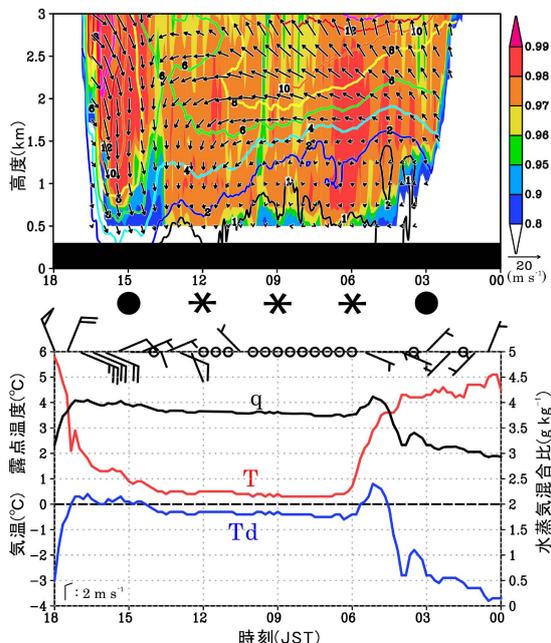


図 6 上段: 梨大レーダーで観測された甲府盆地上の偏波間相互相関( $\rho_{HV}$ 、カラーの陰影)とドップラー速度から算出した水平風(矢印とカラーの等高線(風速))の時間・高度断面。

下段: 気象官署甲府での風向風速(矢羽根)、水蒸気混合比(黒線)、気温(赤線)そして露点温度(青線)の時間変化。

図 6 は梨大レーダー観測から得られた甲府盆地における偏波間相互相関( $\rho_{HV}$ )とドップラー速度から算出したレーダー上空の風向風速の時間・高度断面図と、気象官署甲府での気象概況、風向風速、水蒸気混合比、気温、露点温度の時間変化を示す。X-MP レーダー観測より得られる偏波間相互相関( $\rho_{HV}$ )は、粒子の不揃い度を示す。本事例において、雪片、融解する雪片、そして雨滴が混在する様な領域、そして雨滴の大きさが不揃いとなる領域では、 $\rho_{HV}$  は小さくなる傾向にある。また、レーダー上空の風の鉛直分布は、複数仰角のドップラー速度データから VAD 法を用いて推定した。

降水システムは 02JST 頃から甲府盆地上空で観測され、03JST 頃から盆地内へ落下を始めた。04JST 頃に、降水システムの下部にあたる低い  $\rho_{HV}$  が地表付近までに到達した。この間に気象官署甲府では降雨を観測した。そして、気温の降下と、露点温度と水蒸気混合比の増加を観測した。降水システムからの降雨に伴う雨滴の蒸発による冷却が示唆される。

05JST と 07JST にかけて、低い  $\rho_{HV}$  の上にある高い  $\rho_{HV}$  が地表付近に到達した。そして気温は  $0^{\circ}\text{C}$  付近まで下降して一定となった。さらに露点温度と水蒸気混合比も減少し、それぞれ  $-0.5^{\circ}\text{C}$ 、 $3.8\text{g kg}^{-1}$  付近まで下降して一定となった。降水システムの上層にあたる雪または氷粒子の層が甲府盆地内の地表付近に到達し、盆地内に降雪をもたらしたことが示唆される。

また、12JST から 14JST にかけて、気象官署甲府では一旦減少した積雪深が増加した(図 3 上段)。11JST から 14JST にかけて、地表付近に見られる低い  $\rho_{HV}$  の上にある高い  $\rho_{HV}$  が地表付近に到達した。このとき、高度 1~2km 付近では北東風が発達した。この北東風は、南岸低気圧の移動と共に東進した 850hPa 面での寒気移流と対応すると言える(図 4)。以上から、南岸低気圧の循環に伴う高度 1~2km 付近の寒気移流に伴い、再び降雪が強化したことが示唆される。

#### (4) 事例解析 2: 甲府と静岡ともに降雨の事例

2012 年 12 月 30 日に南岸低気圧が日本列島の南海上を発達しながら東北東進、または北東進した(図 7)。この間に、気象官署甲府、静岡共に降雨を観測し、降雪は観測されなかった。

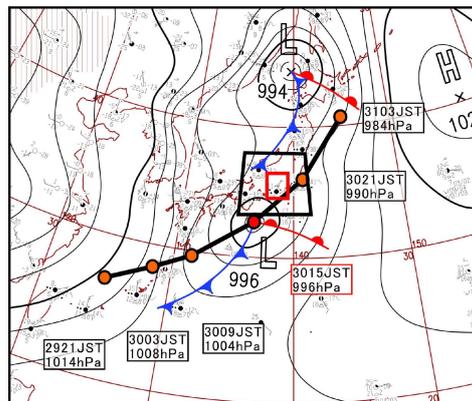


図 7 2012 年 12 月 30 日 15JST の地上天気図と、対象とした南岸低気圧の経路。図中の黒色(赤色)の四角は図 8(図 1)で示される領域を指す。出典は気象庁である。

図 8 は、15JST の気象庁 C-バンドレーダーで観測された降水強度の分布、そして 09JST の高層天気図から解析した等温線と、暖気移流の風向を示す。先の事例と同様に、南岸低気圧の北東象限にて降水システムが広がり、甲府盆地と静岡域はそれに覆われた。本事例では、09JST の観測から、850hPa 面において  $3^{\circ}\text{C}$  から  $6^{\circ}\text{C}$  に及ぶ暖気移流を伴っていた。

X-MP レーダーで観測された  $Z_H$  の鉛直分布を見ると、静岡域から甲府盆地にかけて、高度 2~3km に大きい  $Z_H$  の領域が見られ、そこから地表へ大きい  $Z_H$  の領域が伸びていくのが見られた(図 9)。館野と浜松の 09JST の高層気象観測から、 $0^{\circ}\text{C}$  層は高度 2~2.5km に存在したことから、高度 2~3km の大きい

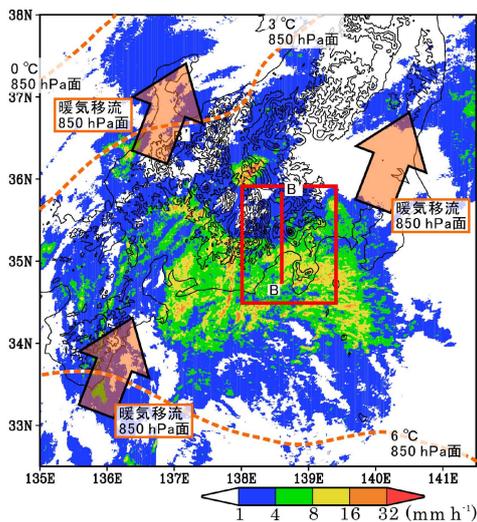


図 8 2012 年 12 月 30 日 15JST の気象庁 C-バンドレーダーで観測された高度 2km 付近の降水強度の分布。橙色の短い破線と矢印は 09JST の 850hPa 面天気図から解析された 0°C、3°C、6°C の各線と暖気移流の方向を示す。

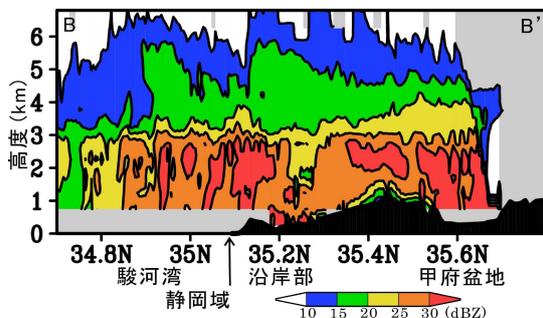


図 9 図 7 中の線分 B-B' における、X-MP レーダーで観測された反射強度 ( $Z_H$ ) の鉛直分布。黒色の陰影は地形を示す。灰色の陰影は NoData の領域を示す。

$Z_H$  の領域はブライトバンドであると言える。以上から、高い高度に 0°C 層の形成をもたらす暖気移流を伴う降水システムにより、その上層にある雪片などの氷粒子の融解によって、静岡域から甲府盆地にかけて降雨がもたらされたことが示唆された。

#### (5) まとめ

南岸低気圧の通過に伴う降雨と降雪に関する解析からの知見を以下の通りまとめる。

- ・南岸低気圧に伴う甲府での降雪の事例数は、南岸低気圧の通過する事例数に対して少ないが、ひとたび降雪がもたらされると深い積雪になることがある。
- ・甲府で降雪、静岡で降雨の事例について、両地点を覆う南岸低気圧に伴う降水システムは、850hPa 面における循環場に伴う、東南東からの 0°C 以上の暖気移流と北北東からの 0°C 以下の寒気移流を伴った。
- ・甲府盆地では層状性降水システム上層の弱い  $Z_H$  の領域が落下したこと、静岡域では高度 2km 以下でブライトバンドが維持していた。
- ・甲府にて降雨から降雪に変化するとき、はじめは雨滴の蒸発による冷却が見られ、その

後降水システムの雪などの氷粒子を含む上層部分の到達に伴う気温と露点温度の降下と水蒸気混合比の減少が見られた。

- ・南岸低気圧の東進に伴い、高度 1~2km 付近の北北東からの寒気移流が甲府盆地上空に到達したとき、降雪が発達した。
- ・甲府、静岡ともに降雨の事例について、両地点を覆う南岸低気圧に伴う降水システムは、850hPa 面における循環場に伴う、南西からの暖気移流を伴った。
- ・高度 2~3km にて静岡域から甲府盆地にかけてブライトバンドが伸び、そこからやや強い  $Z_H$  が地表へ伸びた。

また、甲府で降雪、静岡で降雨をもたらした南岸低気圧に伴う降水システムの雲解像モデルによる再現実験を試みたが、うまく再現できなかった。これについては今後の課題としたい。

本研究において、降雪と降雨をもたらす層状性降水システムの構造の違いと、降雨から降雪へ変化するときの地上場、また降雪が発達する時の降水システムの構造と風の変化を捉えることができた。以上を基に、南岸低気圧に伴う降雨と降雪の判別において、以下のことを考察した。

- ・甲府盆地の降雪は、ブライトバンドより上層の雪または氷粒子の層の落下によりもたらされる。また降雨は、ブライトバンドの下層で生じる。X-MP レーダーの 3 次元観測による、ブライトバンドの高度とその上層の雪または氷粒子の層の地表への落下の詳細な監視が、降雪と降雨の判別を容易かつ的確にすることが期待できる。

・層状性降水システム中の降雪と降雨の判別には、移動する南岸低気圧の高度 2km 以下の循環場に伴う暖気移流と寒気移流の影響を受ける。高層気象観測のみならず、現在設置されている気象ドップラーレーダーやウインドプロファイラーによる広範囲にわたる降水システム内の風の鉛直分布の観測が、高度 2km 以下の循環場の監視に有効であると考えられる。

- ・盆地内で、気温が低く水蒸気混合比もやや低い場において、降水システムからの雪などの氷粒子が融解せずに落下することで降雪が生じる。また、降雨に伴う蒸発により冷却される場に、降水システムの雪などの氷粒子を含む層が到達することで、降雨から降雪に変化する。このような現象を可能にする気象場を監視するために、気温、湿度、気圧の観測の充実化が必要とされる。

#### 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 (計 2 件)

- ① 佐野哲也、末次忠司、大石哲、夏季静穏日に甲府盆地上で出現する積乱雲の出現分布と出現前の地上場の特徴、土木学会論文集 B1(水工学)、査読有、70 巻、2014、I\_889-I\_894

- ② Tetsuya SANQ, Satoru OISHI and Kengo SUNADA, Structure, Maintenance and Development of a Stationary Cumulonimbus Cloud Generated over a Mountain Slope Adjoining a Bay in Summer, Journal of Meteorological Society Japan, 査読有, 90 卷, 2012, 807-831

佐野哲也 (SANO, Tetsuya)  
山梨大学・医学工学総合研究部・助教  
研究者番号： 90533589

[学会発表] (計 5 件)

- ① Tetsuya SANQ, Tadashi SUETSUGI and Satoru OISHI, Case Study on the Formation of Snowfall in a Basin Covered by the Stratiformed Precipitation System with an Extratropic Cyclone in Winter, 94th AMS Annual Meeting, Atlanta, 2 - 6 February, 2014.
- ② 佐野哲也、末次忠司、大石哲、冬季の南岸低気圧に伴う甲府盆地の降雪の事例解析、日本気象学会 2013 年秋季大会、仙台国際センター(仙台)、2013 年 11 月 19~21 日
- ③ 佐野哲也、末次忠司、大石哲、冬季の南岸低気圧に伴う層状性降水システムの X-バンドマルチパラメータレーダー観測、水文・水資源学会 2013 年度研究発表会、神戸大学百年記念館(神戸)、2013 年 9 月 25~27 日
- ④ 佐野哲也、大石哲、砂田憲吾、末次忠司、台風の通過に伴う内陸盆地を囲む山岳斜面上の豪雨形成、日本地球惑星連合 2013 年大会、幕張メッセ国際会議場(千葉)、2013 年 5 月 19~24 日
- ⑤ Tetsuya SANQ, Satoru OISHI, Kengo SUNADA and Tadashi SUETSUGI, Formation of Heavy Rainfall over Inner Mountain Slopes Surrounding a Inner Basin Associated with the Pass of a Typhoon, International Conference on Mesoscale Convective Systems and High-Impact Weather in East Asia, Beijing, 27 - 29 March, 2013

[その他]

- 招待講演 (計 1 件)
- ① 佐野哲也、X-MPレーダーでみた甲府盆地の降水系、甲府地方気象台、2013 年 12 月 10 日
- 報道関連情報 (計 1 件)
- ① 佐野哲也、短時間局地豪雨に対する山梨大学の取り組み、NHK甲府放送局「まるごと山梨」「ニュース山梨 845」、2013 年 9 月 2 日
- 新聞寄稿 (計 1 件)
- ① 佐野哲也、冬型の気圧配置「西高東低」、山梨日日新聞「知りたい!? 好奇心」、2012 年 12 月 11 日

## 6. 研究組織

### (1)研究代表者