

新潟での局所降雪分布と偏西風ジェットの変動及びブロッキングとの関係

* 山崎哲¹・本田明治²・川瀬宏明³ (1: JAMSTEC 2: 新潟大 3: 気象研究所)

1 はじめに

中部・北日本の日本海側の地域では、降雪分布(型)として、内陸部の山間域に降雪が集中する「山雪型」と沿岸部の平地に降雪が集中する「里雪型」があることが知られている(Akiyama, 1981a,b; Iwamoto et al., 2008). 中部日本海側の代表的な豪雪地域である新潟の里雪と山雪については、客観解析によってこれら2つのを含む3パターンのローカルな降雪型が現れることが知られている. Akiyama (1981a,b) は新潟での冬季の降水量に関して経験直交関数(EOF)を用いた統計解析を行い、降雪型を分類した. 主要な降雪型として新潟の全域で降雪を伴う標準型(里山雪型)、それに続く降雪型として、山間域、沿岸域での降雪が支配的となる山雪型、里雪型がそれぞれ存在することを示した. この一連の論文ではさらに、里雪、山雪、里山雪それぞれの卓越時の総観規模場を分析し、共通して日本列島の上空にトラフが現れることを示した.

最近、大循環場の観点からの研究が Ueda et al. (2015) で行われた. 山陰から東北日本海側までの広範囲な里雪地点での降雪量を12~2月(冬季)積算してその降雪量の年々変動と冬季平均の大循環場との関係について調査し、季節平均の場での里雪と日本の対流圏上層のトラフとの関係を明らかにした. 彼らの結果は、季節(3ヶ月)スケールでは、フィリピン海付近の熱帯対流の影響が大きいことを明らかにした.

今回の研究では、より短い季節内時間スケールの旬(10日)スケールの大循環場変動と新潟での里雪・山雪との関係について調査する. その根拠は、中緯度で大きな振幅を持つ低周波変動(伊藤, 2007)が存在するためである. 低周波変動は、10日~1ヶ月の時間スケールを持つ成分で、Feldstein (2000) では、太平洋・北アメリカパターン(PNA)や北大西洋振動(NAO)といった主要な低周波変動が10日程度の時間スケールを内包することを示している. こういった時間スケールを持つ大循環場の変動が、日本の上空

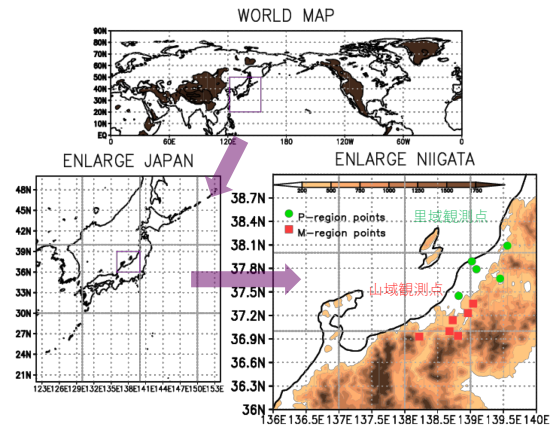


図 1: 里域(○印)と山域(□印)の気象観測点の位置と標高(陰影[m])を示す. 図は北半球全体のマップ(上)から日本域(左下)、新潟域(右下)までを拡大したものである(拡大域の外枠を北半球マップと日本域マップに示す). 北半球マップの標高は1000 m(淡灰色)、3000 m(灰色)、5000 m(濃灰色)等値線を示す.

のトラフやシベリア高気圧・アリューシャン低気圧の変調を介してローカルな里雪や山雪と関係するかもしれない. ここで、低周波変動として注目すべき大気変動はいくつかあるが、今回は特にユーラシア上の亜熱帯・亜寒帯ジェットの変動(Sakai and Kawamura, 2009; Inaba and Kodera, 2010; Yamashita et al., 2012)と、極東域でのブロッキング(Takaya and Nakamura, 2005)を対象とした. 本研究の詳細は Yamazaki et al. (2019) (以下 YHK19) を参照してほしい.

2 データ解析手法

本研究の基本的な戦略は、長期地点観測データと長期全球再解析を使ってローカル(10² km)な降雪分布出現時の大循環場(10³ - 10⁴ km)を「復元」することで、大循環場がローカルな降雪に与える影響を考察することである(図 1). 地点観測データには気象庁の地上観測データと、全球再解析には JRA-55 データセット(Kobayashi et al., 2015)を用いる. そして同時に考察する、ローカルな降雪の時間スケールと大循環場の時間スケールを同じにする(関連:

“scale-separation strategy”, 見延, 2014): ここでは, ローカルな降雪量として旬積算のデータを用いた議論を行う。

里雪・山雪・里山雪出現旬を定義するため, 新潟の里域(山域) 5 (6) 地点平均の旬積雪量データを用いる(図 1)。1980/81年~2017/18年の冬季全 342 旬データを用いて, 里域と山域での冬季 9 旬での降雪平均(旬気候値)と標準偏差を定義した。各旬での降雪量偏差を標準偏差で規格化し, 全冬季の里域・山域の降雪量偏差を求めた(図 2a)。里(山)雪型の発生は, 里(山)域で降雪偏差が正に大きく, かつ山(里)域での降雪偏差が +1 以下の旬とし, 里山雪旬は両域での降雪偏差が同時に +1 以上の旬とした。

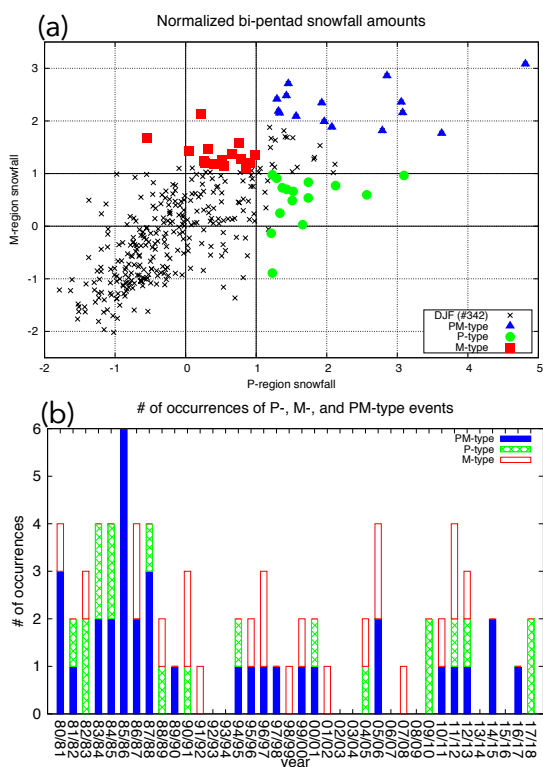


図 2: (a) 里域(横軸)と山域(縦軸)での規格化降雪量偏差の散布図。×印は全旬, ○, □, △印はそれぞれ里雪, 山雪, 里山雪型の上位 15 旬を示している。(a)1980/81~2017/18年での里雪(網掛け), 山雪(中抜き), 里山雪(中塗り)旬の冬季毎の出現回数(上限 9 回)。

これらの降雪型出現の年々変動の特徴は(図 2b), 里山雪型や山雪型に比べて里山雪型の発生数が多い, 特定の降雪型のイベントだけが 1 つの年に

偏って発生はしない, の 2 点である。後者の特徴は, 低周波変動の間欠的出現の性質(伊藤, 2007)と整合的である。

3 結果

里雪・山雪・里山雪型での大循環場の特徴を調査していく。それぞれの降雪型での大気循環場の特徴を, それぞれの上位 15 旬で平均した合成図から抽出する(図 2a)。気候値と偏差は, それぞれカレンダー日毎の 37 年平均とそこからのずれとして定義している。

各降雪型での海面気圧(SLP)場の特徴は(図 3a-c), 里山雪型ではシベリア高気圧の強化, 山雪型ではアリューシャン低気圧の強化, そして里山雪型ではその両方が見られる。

250 hPa でのジオポテンシャル高度(Z250)場を見ると(図 3d-f), 日本の上空にトラフが共通して現れている。ただし, このトラフの成因あるいは起源はそれぞれで異なっている様子が見られる。里山雪ではトラフに対して, ユーラシア大陸の北側を通る亜寒帯ジェットと, 大陸の南側を通る亜熱帯ジェット両方に沿った準定常 Rossby 波東伝播(シグナル)が見られるのに対し, 里山雪型では亜熱帯ジェット上シグナル, 山雪型では亜寒帯ジェット上シグナルの遮断が見られた。これは, 共存可能な両ジェット上のシグナルのどちらかが明瞭に現れる場合に里山雪型が出現し, 亜熱帯(亜寒帯)ジェット上のシグナルだけが遮断された時に里山雪型(山雪型)が出現するようだ(詳細は YHK19 参照)。

次に, ブロッキングの発生頻度を調査する。ここで, Masato et al. (2013) の 2 次元ブロッキング指標を用いてブロッキングを検出する。この指標では, 500 hPa のジオポテンシャル高度場での南北勾配の逆転に基づいてブロッキングを定義する。気候学的なブロッキング発生頻度分布を描くと, 東シベリア域はブロッキングの頻度が多い領域となっていた。

それに対して里山雪・里雪・山雪型出現時には, 東シベリア域でのブロッキング頻度が気候値よりも有意に増加していた。つまり, 新潟での降雪型発生には東シベリア域でのブロッキングの発生とも関係していることがわかった(参照: 藤田, 1966)。

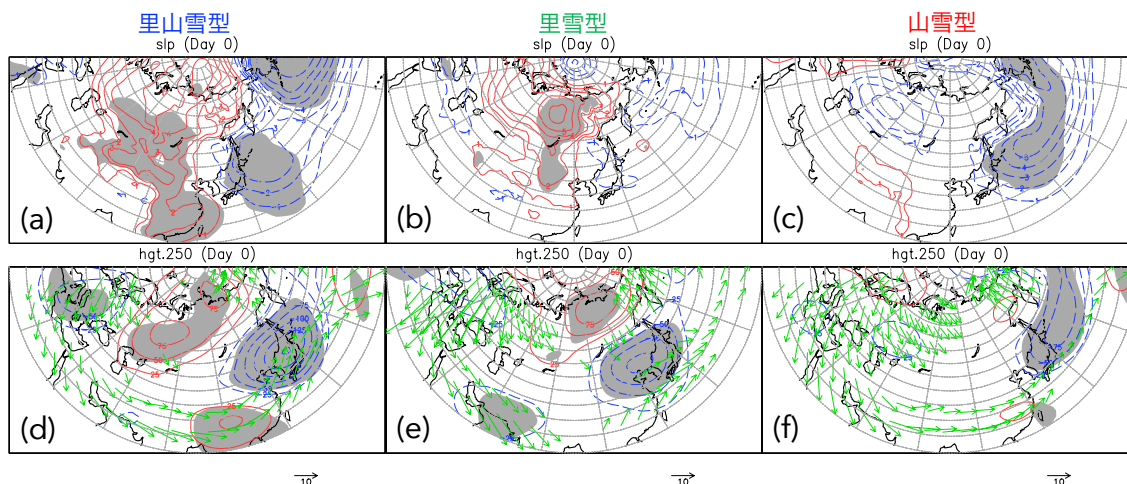


図 3: (左列) 里山雪型, (中央) 里雪型, (右列) 山雪型での (a-c) SLP 偏差 [hPa] と (d-f) Z250 偏差 [m] と波活動度フラックス [$\text{m}^2 \text{s}^{-2}$] (Takaya and Nakamura, 2001). 陰影は偏差が 95% 有意な領域を示す。

4 まとめと今後の課題

本研究では、新潟での局所的 ($\sim 10^2 \text{ km}$) な卓越降雪分布 (里雪・山雪・里山雪型) と全球規模 ($\sim 10^4 \text{ km}$) の大気循環場との間に旬 (10 日程度) スケールでの関係があることがわかった。里山雪型の出現時には、ユーラシアを横切る亜熱帯・亜寒帯ジェット上で日本の上空に低気圧偏差を持つような準定常 Rossby 波シグナルが現れること、それに対して里雪 (山雪) 型では亜熱帯 (亜寒帯) ジェット上のシグナルがユーラシア大陸上で遮断されることがわかった。さらに、全ての降雪型の出現時に、東シベリア上でのブロッキング頻度が増加することがわかった。

本研究は、対流圏中緯度大循環場での低周波変動が空間スケールを大きく隔てたローカルな降雪分布に影響を与えることを示した。この結果は、予測可能性の短いローカルな降雪現象についての、直接的な予測ではなく、より予測可能性の長い大循環場の予報に基づいたポテンシャル的な予測を行う点に貢献し得る。

さらに、今後の課題を以下に示す：

- 大循環場の変動とローカルな降雪分布出現をつなぐ素過程の解明。この間には総観規模とメソスケールの大気現象が介在するので、これらのスケールについてより詳細に調査する必要がある。また、総観規模擾乱が大循環場の変動に与える影響についても

興味深い (例えば, Zhu et al., 2007)

- 東シベリア域でのブロッキングの力学について、このブロッキングは主要なストームトラック域から離れていて、Rossby 波の波活動度フラックスを収束させるようなストームトラック域のブロッキングとメカニズムが異なっている可能性がある。
- 降雪型出現の遷移について、低周波変動と関係する天候レジーム間での起こりやすい遷移 (“preferred transitions”, Kimoto and Ghil, 1993; Matsueda and Kyouda, 2016) が、里雪・山・里山雪型出現間の遷移に関係しているかもしれない。
- 降水量で見た「里雪・山雪」について、今回は降雪量に基づいて降雪型を定義したが、冬季の降水量という観点で調査すると、大循環場やローカルな降水分布の特徴はどのように異なるのか。

謝辞

本研究会において今後の研究の展開に関して、稲葉守生さん、小寺邦彦さん、神山翼さん、前田修平さん、川村隆一さんほか皆様から大変有益なコメントをいただきました、感謝いたします。本研究は、科研費 15H02129・17H02067・18K13617 の助成を受けました。

参考文献

- Akiyama, T., 1981a: Time and spatial variations of heavy snowfalls in the Japan Sea coastal region. Part I. Principal time and space variations of precipitation described by EOF. *J. Meteor. Soc. Japan*, **59**, 578–590.
- Akiyama, T., 1981b: Time and spatial variations of heavy snowfalls in the Japan Sea coastal region. Part II. Large-scale situations for typical spatial distributions of heavy snowfalls classified by EOF. *J. Meteor. Soc. Japan*, **59**, 591–601.
- Feldstein, S. B., 2000: The timescale, power spectra, and climate noise properties of teleconnection patterns. *J. Climate*, **13**, 4430–4440.
- Inaba, M. and K. Kodera, 2010: Forecast study of the cold december of 2005 in Japan: Role of Rossby waves and tropical convection. *J. Meteor. Soc. Japan*, **88**, 719–735.
- Iwamoto, K., S. Nakai, and A. Sato, 2008: Statistical analyses of snowfall distribution in the Niigata area and its relationship to the wind distribution. *SOLA*, **4**, 45–48.
- Kimoto, M. and M. Ghil, 1993: Multiple flow regimes in the Northern Hemisphere winter. Part II: Sectorial regimes and preferred transitions. *J. Atmos. Sci.*, **50**, 2645–2673.
- Kobayashi, S., et al., 2015: The JRA-55 reanalysis: General specifications and basic characteristics. *J. Meteor. Soc. Japan*, **93**, 5–48.
- Masato, G., B. Hoskins, and T. Woollings, 2013: Winter and summer Northern Hemisphere blocking in CMIP5 models. *J. Climate*, **26**, 7044–7059.
- Matsueda, M. and M. Kyouda, 2016: Wintertime east Asian flow patterns and their predictability on medium-range timescales. *SOLA*, **12**, 121–126.
- Sakai, K. and R. Kawamura, 2009: Remote response of the East Asian winter monsoon to tropical forcing related to El Niño Southern Oscillation. *J. Geophys. Res.*, **114**, D06 105.
- Takaya, K. and H. Nakamura, 2001: A formulation of a phase-independent wave-activity flux for stationary and migratory quasi-geostrophic eddies on a zonally varying basic flow. *J. Atmos. Sci.*, **58**, 608–627.
- Takaya, K. and H. Nakamura, 2005: Mechanisms of intraseasonal amplification of the cold Siberian high. *J. Atmos. Sci.*, **62**, 4423–4440.
- Ueda, H., A. Kibe, M. Saitoh, and T. Inoue, 2015: Snowfall variations in Japan and its linkage with tropical forcing. *Int. J. Climatol.*, **35**, 991–998.
- Yamashita, Y., R. Kawamura, S. Iizuka, and H. Hatsushika, 2012: Explosively developing cyclone activity in relation to heavy snowfall on the Japan Sea side of central Japan. *J. Meteor. Soc. Japan*, **90**, 275–295.
- Yamazaki, A., M. Honda, and H. Kawase, 2019: Regional snowfall distributions in a Japan-Sea side area of Japan associated with jet variability and blocking. *J. Meteor. Soc. Japan*, **97**, doi:10.2151/jmsj.2019-012.
- Zhu, X., J. Sun, Z. Liu, Q. Liu, and J. E. Martin, 2007: A synoptic analysis of the interannual variability of winter cyclone activity in the Aleutian Low region. *J. Climate*, **20**, 1523–1538.
- 伊藤, 2007: 低周波変動をどのように理解するか. *天気*, **54**, 35–51.
- 見延, 2014: 素過程から数十年スケールに及ぶ海洋大気結合変動の解析研究. *海の研究*, **23**, 147–169.
- 藤田, 1966: 北陸地方の里雪と山雪時における総観場の特徴. *天気*, **13**, 17–24.