

# ヤマセ卓越時の北上盆地での南風の解析

川口 純\*・日下博幸\*\*・木村富士男\*\*\*

(\* 東京大学大学院生, \*\* 筑波大学計算科学研究センター, \*\*\* 筑波大学生命環境科学研究科)

ヤマセは、夏季の北日本の太平洋側に吹き付ける冷たく湿った東寄りの風である。ヤマセ卓越時には、東北地方太平洋側で東～南東の風が吹く。しかしながら、北上盆地では南風が吹く。本研究では、この南風の成因を明らかにするために、データ解析と領域気象モデル WRF を用いた数値実験を行った。結果を以下に示す。  
(1) WRF を用いた数値実験の結果、実地形を用いた基準実験と、北上高地の地形高度を 90% に減少させた実験では北上盆地で南風が吹くが、北上高地の地形高度を 80%, 70% に減少させた実験では、北上盆地では南風が吹かず東風が卓越する。(2) この結果は、フルード数やロスビー数を使った力学的解析の結果と一致する。  
(3) ヤマセ卓越時の北上盆地の南風は、地形障壁の効果と重力流の特徴をよく表している。

キーワード: ヤマセ, Channeling 効果, 北上盆地, 地形, 数値実験, フルード数, 重力流

## I はじめに

ヤマセは、夏季に北日本の太平洋側に吹く低温・湿潤な風である。ヤマセは、オホーツク海高気圧を起源とする総観規模の特徴をもつ一方で、局地風としての一面をもつ。地球温暖化に注目が集まる現代でも、ヤマセはほぼ毎年見られる。いったんヤマセが吹走すると、数日～十数日間吹走することが多い(加藤 1995)。ヤマセは下層雲を伴うことが多く、ヤマセの期間中は日照不足に陥るため、昔から農業に対するヤマセの情報は必要不可欠であり、多くの研究がなされてきた(ト蔵 1986; Komada 1997; Kanno 2004; Takai et al. 2006)。

ヤマセに関する過去の研究は、北日本の太平洋上や太平洋沿岸を対象とした過去の冷夏の解析(村上 1981; 工藤 1982; Komada 1997)や衛星画像解析(川村 1995)が主流である。近年は数値モデルの研究も盛んに行われている(永田 1995)。また、内陸部に達しているヤマセに着目した研究で、ヤマセが内陸部まで達する経路は確認されている。しかしながら、冷夏の解析や数値モデルの研究と比べると、

内陸部に達するヤマセの研究は少ない。

本研究では、ヤマセ吹走時の北上盆地(図 1)の風に注目する。北上盆地は南北に細長い盆地であるため、ヤマセが比較的大きな山塊を越えないとすると、盆地内では Channeling 効果により、気圧傾度によって風が吹く(Whiteman and Doran 1993)。Channeling 効果によって吹く風の例として、冬季の伊那谷の南風がある(木村 1991)。この場合、風は谷に沿って、総観規模の気圧が高い方から低い方へと吹く。ヤマセが吹走するとき、多くの場合は日本の北東側にオホーツク海高気圧があるため、総観規模での気圧傾度は北から南となる。図 2 は、そのときの一例である。Channeling 効果に従うとすると、北上盆地では北風が吹くはずである。しかしながら、実際には北上盆地では、南風が吹いている<sup>1)</sup>(図 3)。

本研究の目的は、ヤマセが卓越する北上盆地で、南風が吹走する成因を明らかにすることである。

## II 力学的解析

本稿のテーマと類似する上述の伊那谷は谷が深いので、谷に沿って風は吹き、風は山を越えない

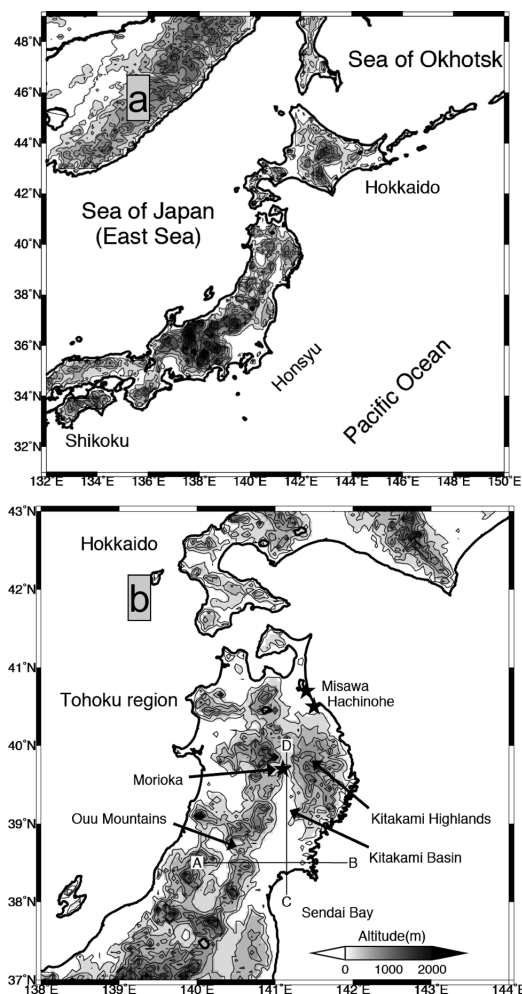


図1 東北地方の地形  
(a: 第1領域, b: 第2領域)

Fig. 1 Topography of the Tohoku region, Japan  
(a, area 1; b, area 2)

(Kuwagata and Kimura 1994). 伊那谷と比べて谷が浅い北上盆地では、冬季の季節風が強くなると、風は山を越える (木村 1991). 奥羽山脈の地形障壁としての効果に限界があると考えられている。ただし、これらの研究は冬季の季節風のものである。ヤマセの場合は風速が比較的弱く、山を越えることは難しいため、主として地形に沿った風が吹くことが予想される。

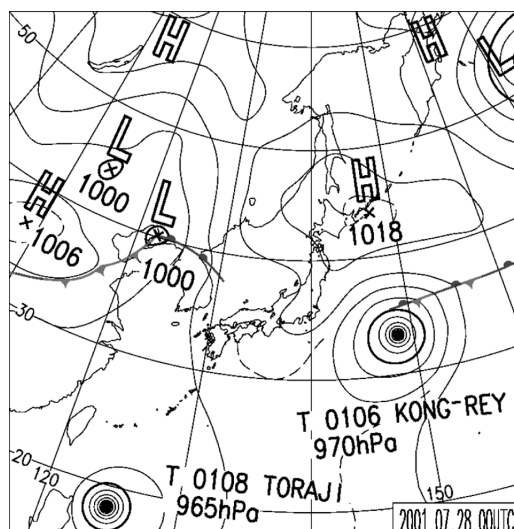


図2 地上天気図 2001年7月28日09時 (JST)  
気象庁天気図2001年7月 (CD-R)

Fig. 2 Surface weather chart at 09:00 (JST) on July 28, 2001

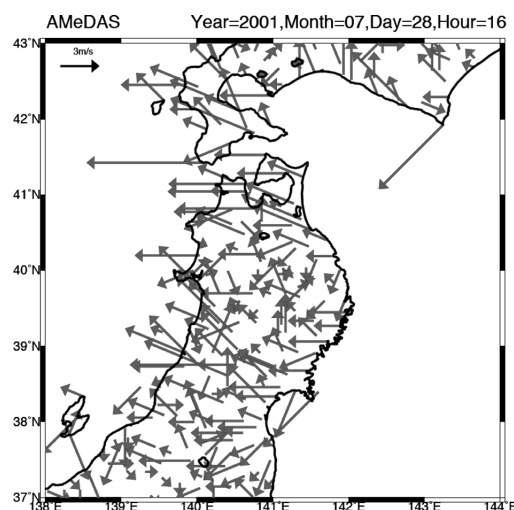


図3 AMeDAS観測の地上風 2001年7月28日16時 (JST)

Fig. 3 Distribution of surface wind observed by AMeDAS at 16:00 (JST) on July 28, 2001

フルード数は、山岳波の理論から得られるパラメータで、回転場ではない場合では、山岳による流れのパターンはフルード数によって決定される。フ

フルード数がおおよそ1を目安としてそれより大きければ、風が地形障壁としての山岳を越えることができる。地衡風速を  $U$ 、プラントバイサラ振動数を  $N$ 、地形障壁の高さを  $H$  とすると、フルード数  $Fr$  は

$$Fr = \frac{U}{NH} \quad (1)$$

で求められる。また、 $N$  は、安定な密度成層で静止している乾燥大気を考え、断熱的に上下に少し移動したときの振動数であり、鉛直温位傾度を  $\Gamma$ 、平均温位を  $\Theta$ 、重力加速度を  $g$  とすると、 $N$  は

$$N = \sqrt{\frac{g\Gamma}{\Theta}} \quad (2)$$

となる。

一方、ロスビー数は、地形が地形障壁として作用している場合において、コリオリ力が無視できる程度を表しており、1 に比べて大きい場合にはコリオリ力が重要ではなく、また逆に十分に小さい場合には、準地衡風近似が成り立つ。地形障壁に直行して吹く風が、地形障壁の裏側に回り込むかどうかを表している。谷の幅  $D$ 、地球の自転角速度  $\Omega$ 、緯度  $\phi$ 、コリオリパラメータ  $f$  とすると、 $f$  は

$$f = 2\Omega \sin \phi \quad (3)$$

となり、ロスビー数  $Ro$  は

$$Ro = \frac{U}{fD} \quad (4)$$

で表される。木村 (1991) によれば、山岳の風系の場合、ロスビー数が1以上であれば、コリオリ力は重要ではなく、流れはフルード数だけでほぼ決まる。

表1は、2001年7月28日の三沢と仙台のゾンデデータから求めたパラメータと、北上盆地を想定した谷の幅の値である。このときのロスビー数はおよ

表1 フルード数・ロスビー数解析のためのパラメータ

Table 1 Parameters for analysis of the Froude number and Rossby number

温位勾配 ( $\Gamma$ )	2.4 K/km
平均温位 ( $\Theta$ )	290.4 K
平均風速 ( $U$ )	6.9 m/s
谷の幅 ( $D$ )	30 km

そ2.4であったことが分かる。山頂間で測り、 $D=50$  km とすると、ロスビー数は1.4となる。コリオリ力を無視することは可能である。また、フルード数が1となる  $H$  は、この事例では758 mであった。北上高地の北部・中部を想定して、 $H=1000$  m とすると、フルード数は0.8となり、これらの結果から、ヤマセはせき止められてしまうことになる。一方、北上高地南部を想定して、 $H=500$  m とすると、フルード数は1.5となり、ヤマセは山を越えることができる。

### III WRF による数値実験

#### 1. 使用モデル

ヤマセ卓越時の北上盆地での南風が、北上高地などの地形に影響されて吹走する可能性を考える。下端境界条件である地形を改変することで、北上盆地内の風がどのような影響を受けるのかを、数値モデルを用いて調べる。使用する数値モデルは、WRF (the Weather Research and Forecasting)<sup>2)</sup> である。数値モデルの概要は、表2の通りである。図1は数値モデルの計算領域を示しており、二つの領域はネスティング手法<sup>3)</sup> により、計算する。

#### 2. 典型日の選出

ヤマセの典型日として、2001年7月28日を選ぶ。図2で、北海道の東に中心をもつオホーツク海高気圧があり、図3で、東北地方は全体的に東寄りの風

表2 WRF の計算設定  
Table 2 Conditions for calculations using the WRF

初期時間 (JST)	2001 年 7 月 26 日 21 時
積分時間	54 時間
初期値・境界値	NCEP FNL ( $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ ) 6 時間ごと
格子間隔	第 1 領域: 15 km 第 2 領域: 5 km
鉛直層数	30
長波放射モデル	RRTM
短波放射モデル	Dudhia
地表面モデル	SLAB
大気境界層モデル	YSU
雲物理モデル	WSM3
積雲対流スキーム	Kain-Fritch

になっている。図 4 からは、下層雲が山塊の東側でせき止められている様子が見られる。下層雲は仙台湾から北上盆地へ入り込み、奥羽山脈を越えて山形盆地まで及んでいる。2001 年 7 月 26~29 日 (JST) の仙台のゾンデで観測された気温と風向・風速を見ると、1000 m 以下では東風が卓越している (図省略)。また、気温の逆転層の底面は上空およそ 1000 m にあり、衛星画像 (図 4) の分析から下層雲の雲頂高度とよく一致している。

### 3. 典型日での再現実験

表 2 の条件下で再現実験を行った。東北地方に面した太平洋上で、北東風が最も顕著に見られた 7 月 28 日 09 時 (JST) 以降の数時間に注目する。北上高地の東側では、高度 1500 m 程度まで北東風が卓越している (図省略)。図 3 と図 5 を比較すると、北上盆地では南風がよく再現されている。この北上盆

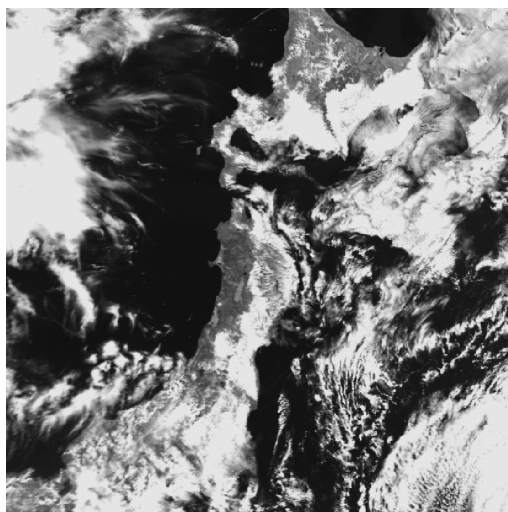


図 4 衛星画像 NOAA/AVHRR Ch.2 2001 年 7 月 28 日 12 時 23 分 (JST)  
(<http://asiadb.cneas.tohoku.ac.jp/jaidas/>)

Fig. 4 Satellite image of NOAA/AVHRR Ch.2 at 12:23 (JST) on July 28, 2001

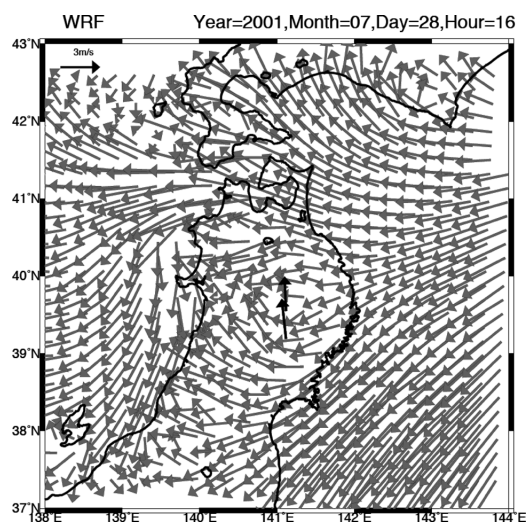


図 5 再現実験から得られた地上風 2001 年 7 月 28 日 16 時 (JST)

Fig. 5 Surface wind in numerical experiment at 16:00 (JST) on July 28, 2001

地の南風は、地上から 1500 m まで認められるが、それより上空では弱い北風となっている (図省略)。図 1 の A-B と C-D について、再現実験の水平風と温

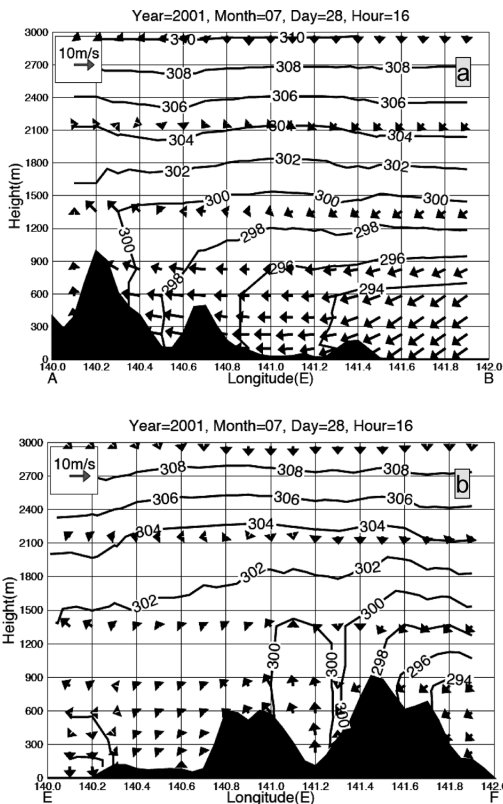


図6 再現実験から得られた水平風と温位(K) 2001年7月28日16時(JST)

(a: 図1のA-B, b: 図1のC-D)

Fig. 6 Horizontal wind and potential temperature (K) of numerical experiment at 16:00 (JST) on July 28, 2001

(a, line A-B in Fig. 1; b, line C-D in Fig. 1)

位を図6に示す。水平風は、下向きのベクトルを北風、左向きのベクトルを東風として示す。図6-aで、B地点からAに向かって下層で温位が高くなり、東寄りの風が吹いている。図6-bではC地点からD地点に向かって下層で温位が高くなっている。風は北緯39度以南では東寄りだが、北緯39度以北では南風になっている。

#### 4. 北上高地の地形高度を変えた地形改変実験

データの解析や再現実験から推察した北上盆地の南風と、フルード数の関係を確認するため、北上高

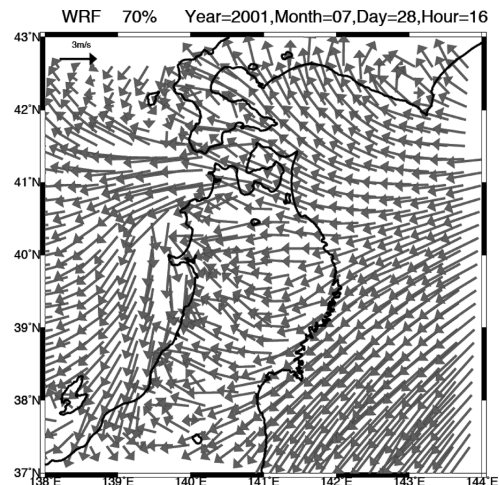


図7 北上高地改変実験(70%の高度)での地上風の結果 2001年7月28日16時(JST)

Fig. 7 Surface wind in numerical experiment assuming 70% of the average terrain height of the Kitakami Highlands at 16:00 (JST) on July 28, 2001

地の地形高度を変化させた数値実験を行う。図7は、北上高地の地形高度を70%に変えて数値実験を行った地上風の結果である。図7では、北上盆地内で東風となっていて、南風ではない。同様に、90%、80%に変えて数値実験を行うと、90%に変えた場合は北上盆地で南風となり、80%まで低くした場合で東風となる。北上高地の地形高度を低くしていくと、下層の温位傾度が小さくなっていく。

#### 5. 北上盆地周辺の地形改変実験

次に周辺の地形高度を変えた実験を行う。図8はそれぞれの実験で用いた地形で、図9はそれぞれの実験から得られた地上風系である。奥羽山脈を除去した場合、北上盆地の風は東風になり、奥羽山脈があった場所で南風が吹いている(図9-a)。仙台湾を800mの山で塞いだ場合、北上盆地では東風となる(図9-b)。北上盆地を八戸までつないだ場合は、北上盆地北部では北風となり、北上盆地南部では南風となる(図9-c)。時間によって北風と南風が収束す

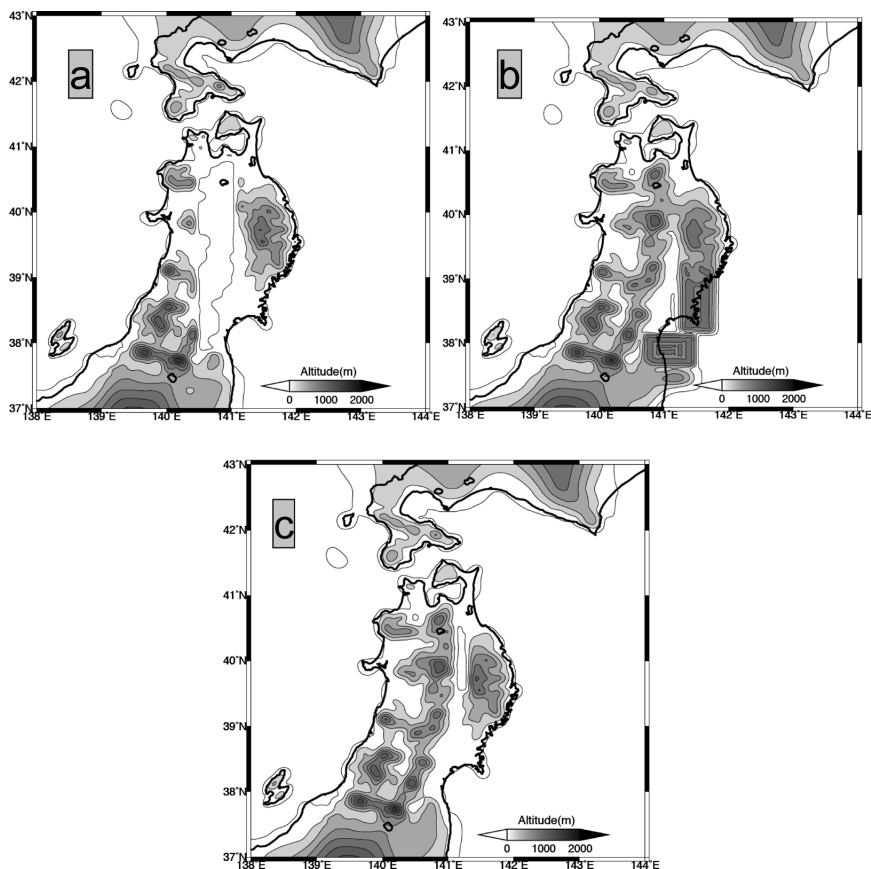


図8 地形改変実験の地形

(a: 奥羽山脈を除去, b: 仙台湾を塞ぐ, c: 八戸と北上盆地の間の山岳を除去)

Fig. 8 Topography in numerical experiments assuming different topographic conditions

(a: Removing Ou Mountains; b: blocking up Sendai Bay; c: connecting Kitakami Basin and Hachinohe)

る地点が変化する．それぞれ図8のように地形を改変すると，A-BやC-Dの温位傾度が大きくなるような状態にはならない．

#### IV 考察

北上高地の地形高度を改変した数値実験で，北上高地の地形高度を100%，90%に改変した場合は北上盆地では南風が吹き，80%，70%の地形高度では東風となった．地形や風速などのパラメータに誤差があり，北上高地の地形高度の90%と80%の間に

フルード数が1となる高度があるとは明示しにくいですが，少なくとも地形高度が100%のとき(図5)では，ヤマセは北上高地を越えず，70%のときに北上高地を越えるという数値実験の結果は，フルード数による力学的判定基準と一致している．実際の地形高度を $H=900$  mとすれば，100%のときは0.8で70%のときは1.2である．

A-Bの東西断面(図6-a)で，ヤマセの進入により，山岳より低い高度1000 m付近の東西温位傾度が大きく，冷気の西への進入が顕著である．C-Dの

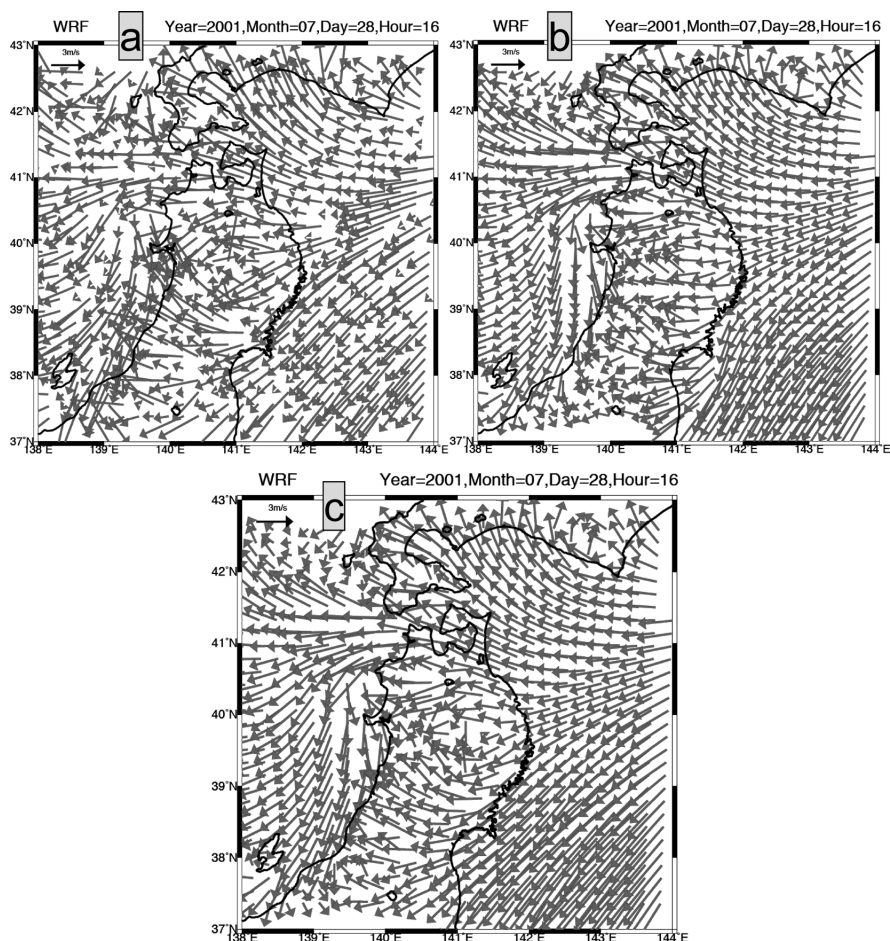


図9 地形改変実験の地上風の結果 2001年7月28日16時 (JST)

(a: 奥羽山脈を除去, b: 仙台湾を塞ぐ, c: 八戸と北上盆地の間の山岳を除去)

Fig. 9 Surface wind in numerical experiments assuming different topographic conditions at 16:00 (JST) on July 28, 2001

(a: Removing Ou Mountains; b: blocking up Sendai Bay; c: connecting Kitakami Basin and Hachinohe)

南北断面 (図 6-b) で、北緯 39 度の北上高地以南では、東寄りの冷気が 1000 m 以下の下層に進入し、谷に沿って温位傾度ができている。その結果として、北緯 39 度以北では、冷気が重力流として北上している。地形も考慮して言い替える。北緯 39 度付近の南側では谷が開け東風として冷気が進入するが、西側に奥羽山脈がそびえ、北緯 39 度付近から北側の北上盆地は幅が狭いため、南北に細長い盆地を抜けて冷気が北向きに吹き出すことで、南風として冷

気が進入する。また、地表付近の気圧傾度は A-B で東向きに、C-D で北向きに働いているが、0.5 hPa/100 km 未満と小さい。気圧傾度は小さく、コリオリ力もそれほど効いていない。ヤマセ卓越時の北上盆地で見られる南風は、地形障壁と重力流によって吹いていると推測される。

地形を変えて実験を行うと、北上盆地では南風にならず、温位傾度も大きい状態にはならない。温位傾度が大きい状態は実際の地形で形成される。重力

流が形成されない環境では、北上盆地では南風とはならない。

冬季の伊那谷の南風（木村 1991）との違いは、二つある。一つは、ヤマセの東風の厚さが山岳の高さに比べて高くはなく、谷の上空の地衡風が弱いことである。またもう一つは、ヤマセの東風の気温が低く、重力流を形成しやすいことである。このため、北上盆地の場合は、伊那谷で南風が吹くメカニズムである Channeling 効果とは異なるメカニズムで南風になっている。

## V 結 論

本研究では、WRF モデルを用いて、ヤマセ卓越時の典型事例について、北上盆地の南風の解析を行った。その結果、以下のことが分かった。

(1) 太平洋上の冷たい北東気流（ヤマセ）が、東北地方の山岳に沿って内陸部へ重力流として流れ、北上盆地では南風となる。

(2) WRF モデルを用いた数値実験の結果は、フルード数やロスビー数を用いた力学的判定基準とほぼ一致する。

(3) ヤマセ卓越時の北上盆地の南風は、地形障壁の効果と重力流によって吹くと推測される。

本研究で対象としたヤマセの典型事例の場合、実際の地形高度が  $H=900$  m と仮定すると、フルード数が 1.2 で、ロスビー数が 2.4 であった。力学的解析から、ヤマセが山脈を越えることができないことが分かった。

また、WRF モデルを用いた数値実験で、実際の地形を用いた場合（フルード数 1.2）は、ヤマセは山脈を越えずに、北上盆地では南風が出現した。しかし、地形高度が 70% の地形を用いた場合（フルード数 0.8）は、ヤマセは山脈を越えなかった。

力学的判定基準と WRF モデルを用いた数値実験の結果は、一致した。

そして、ヤマセ卓越時の北上盆地での南風は、温

位傾度が大きく、重力流の特徴をよく示していた。北上盆地で冷気が重力流として北上することで、南風が現れることが示唆される。

本研究を進めるにあたり、東北大学大学院理学研究科の川村宏教授には、岩手県環境保健研究センターの高井博司氏の未発表資料を紹介して頂いたとともに、貴重な御意見を頂きました。この場を借りまして厚く御礼申し上げます。

本稿は、2007 年度筑波大学自然学類の卒業論文をもとに大幅に加筆・修正したものであり、その概要については 2008 年日本地理学会秋季学術大会において発表した。

（投稿 2009 年 11 月 14 日）

（受理 2010 年 2 月 6 日）

## 注

- 1) 北上盆地での南風と冬季の伊那谷の南風は、総観規模の気圧傾度と風向の関係が逆である。
- 2) NCAR/NCEP などが中心となって開発している、非静力学・完全圧縮系の方程式を採用している領域気象モデル。WRF には予報目的として開発された NMM 版と研究目的で開発された ARW 版があるが、本研究では後者を用いている。
- 3) 第 1 領域（親領域）と呼ばれる広範囲な領域を比較的粗い解像度で計算し、その結果を境界値にして第 2 領域（子領域）をより高い解像度で計算する手法。

## 文 献

- 加藤内蔵進 1995. ヤマセに関するオホーツク海高気圧の総観的特徴. 気象研究ノート 183: 67-90.
- 川村 宏 1995. ヤマセの衛星リモートセンシング. 気象研究ノート 183: 153-179.
- 木村富士男 1991. 力学効果により谷筋に沿って吹く風. 天気 38: 15-22.
- 工藤敏雄 1982. 東北地方における昭和 56 年冷災害気象の特徴. 農業気象 38: 177-182.
- 永田 雅 1995. ヤマセと数値予報. 気象研究ノート 183: 107-122.
- ト蔵建治 1986. ヤマセ時の高地における気象特性に関する研究. 農業気象 41: 321-329.
- 村上律雄 1981. 1980 年の冷害気象の特徴と発生要因. 農業気象 37: 249-253.
- David, C. W. and Christopher, J. D. 1993. The relationship overlying synoptic—Scale flows and winds within a valley. *J. Appl. Meteor.* 32: 1669-1682.



- Kanno, H. 2004. Five-year cycle of north-south pressure difference as an index of summer weather in Northern Japan from 1982 onwards. *J. Meteor. Soc. Japan* 82: 711–724.
- Komada, Y. 1997. Air mass transformation of the Yamase air-flow in the summer of 1993. *J. Meteor. Soc. Japan* 82: 737–751.
- Kuwagata, T. and Kimura, F. 1994. Daytime boundary layer evolution in a deep valley. Part I: Observations in the Ina Valley, Japan. *J. Appl. Meteor.* 34: 1082–1091.
- Takai, H., Kawamura, H. and Isoguchi, O. 2006. Characteristics of the Yamase winds over oceans around Japan observed by the scatterometer-derived ocean surface vector winds. *J. Meteor. Soc. Japan* 84: 365–373.

Geographical Review of Japan Series A **83**–4 375–383 2010

### **Analyses of Southerly Winds along the Kitakami Basin when the Yamase Prevails**

KAWAGUCHI Jun,\* KUSAKA Hiroyuki\*\* and KIMURA Fujio\*\*\*

(\*Graduate Student, University of Tokyo, \*\*Center for Computational Science, Tsukuba University,

\*\*\*Department of Life and Environmental Science, Tsukuba University)

The Yamase is a cold, humid, northeasterly wind blowing toward the coast on the Pacific side of the Tohoku region of Japan during summer. However, the Yamase blows in a southerly direction in the Kitakami Basin. In this study, analyses of data and numerical experiments using the Weather Research and Forecasting (WRF) model were conducted to determine the reason for this southerly direction.

The results of numerical experiments indicated that the Yamase is southerly in the Kitakami Basin where the actual topography is reduced to 90% of the average terrain height. Meanwhile, it is easterly in areas of the Kitakami Basin when the topography is reduced to 80% of the average terrain height. The results of numerical experiments were consistent with those of mechanical analyses using the Froude number and Rossby number. Analyses of the Yamase in the Kitakami Basin therefore suggest that its characteristics are influenced by topographic obstacles and gravitational flow.

**Key words:** Yamase, channeling effect, Kitakami Basin, topography, numerical experiment, Froude number, gravitational flow