

地上地衡風に着目した channeling 流の気候学的研究

佐藤 亮吾¹, 日下 博幸²

(¹ 筑波大学 生命環境科学研究科, ² 筑波大学 計算科学研究センター)

1. 序論

山間部では谷筋に沿って風が吹きやすいことが良く知られている。谷筋に沿って吹く風のひとつに channeling 流と呼ばれるものがある。Channeling 流は pressure driven channeling と forced channeling の 2 種類に大別される (Whiteman and Doran, 1993)。Pressure driven channeling は総観規模の気圧傾度力の谷筋に平行な成分にしたがって吹く風であり、Forced channeling は地衡風の谷筋に平行な成分にしたがって吹く風である。

Channeling 流は世界各地の谷で観測されている。Kalthoff and Vogel (1992) は, Upper Rhine Valley で発生した地衡風に逆らって吹く風の事例解析を行い、この風の出現には谷内部における安定層の発達が重要であることを指摘した。この風は現在で言うところの pressure driven channeling に該当する。また、同地域における多数の事例を集計した統計解析を行い、事例解析で得られた結果が一般性を持つことを示した。Whiteman and Doran (1993) は, Tennessee Valley 内で吹く風を対象とした統計解析を行い、pressure driven channeling は夜間に起こりやすいこと、そして昼間は谷筋に沿って風が吹きにくいことを指摘した。それらの要因として、夜間は安定層が発達して谷の内部の空気層が上空の空気層から切り離されること、昼間は混合層が発達して上空から運動量が輸送されてくることを挙げた。さらに、Eckman (1998) は Tennessee Valley で発生した channeling 流を数値モデルによって再現し、Whiteman and Doran (1993) の主張を支持した。

Gross and Wippermann (1987) は, Upper Rhine Valley を対象として様々な風向の地衡風を与えた場合における谷内部の大気の挙動を調べる数値実験を行った。その結果から、地衡風が谷の走向に対してある程度の角度をなして吹いている場合は pressure driven channeling が発生し、地衡風が谷の走向に対

してほぼ平行に吹いている場合は forced channeling が発生することを示した。これは、地衡風の向きと谷の走向とのなす角の大きさによって発生する channeling 流の種類、すなわち谷内部の風向が異なる場合があることを示している。

Weber and Kaufmann (1998) は、スイス・バーゼル地方を対象に pressure driven channeling と forced channeling の出現頻度を調べ、大きな谷では pressure driven channeling の頻度が高く、小さな谷では forced channeling の頻度が高いことを示唆した。

このように、channeling 流の発生には安定層の存在、地衡風と谷の走向のなす角、谷のスケールが重要な要素として挙げられている。本研究では、これらの中から Gross and Wippermann (1987) で指摘されている「地衡風と谷の走向のなす角」に着目し、その関係について長期間の観測データを用いた気候学的見地から検証していく。

2. 使用データおよび解析手法

本研究の解析対象地域は、岩手県の北上盆地から宮城県の仙台平野にかけてである (図 1)。北上盆地は東西を北上山地と奥羽山脈に挟まれた南北の走向を持つ谷状の地形を有しており、その谷は長さ約 100 km, 幅約 50 km, 深さは深いところで約 1000 m である。なお、先行研究の解析対象である Upper Rhine Valley や Tennessee Valley などと比較すると、ややスケールが小さい。

本研究で用いたデータは、気象庁の地域気象観測システム (AMeDAS) の風と海面更正気圧の観測値 (時別値) である。解析期間は 1991 年から 2013 年の 23 年間である。むつ、銚子、相川の海面更正気圧の値から地上地衡風を算出し、北上盆地付近の総観規模の流れを表すパラメーターとした。なお、算出された地上地衡風は気象庁メソ客観解析データ (MANAL) の 900 hPa 面の風データと比較し、

大気下層の総観規模の流れを良く表していることを確認した。

本研究では、総観規模の流れに対する地上風の振る舞いを可視化するため、地上地衡風ベクトルの東西成分および南北成分を軸とする座標平面を使用した。図 2 は、この座標平面の各象限における総観場と地上風を模式的に表したものである。第二象限および第四象限に着目すると、pressure driven channeling と forced channeling の風向が異なることが分かる。一方、第一象限および第三象限では、pressure driven channeling と forced channeling の風向が同じであるため、両者を区別することはできない。

なお、解析対象地域における pressure driven channeling の定義は、地上地衡風の座標が第二象限(第四象限)に位置しており、かつ地上風が北北西～北北東(南南東～南南西)であるものとした。また、forced channeling の定義は、地上地衡風の座標が第二象限(第四象限)に位置しており、かつ地上風が南南東～南南西(北北西～北北東)であるものとした。

3. 結果・考察

3.1. Channeling 流の抽出

北上盆地において谷の走向に沿った風が吹きやすいことを確認した上で、前述の定義に従って pressure driven channeling および forced channeling のサンプルを抽出した。例えば、盛岡(北上盆地)で抽出された pressure driven channeling の総吹走時間は 37214 時間、forced channeling の総吹走時間は 28010 時間であり、この数は統計的な議論をする上で十分なサンプル数である。

3.2. Channeling 流が出現した時の地上地衡風

盛岡において pressure driven channeling と forced channeling がそれぞれ出現した時の地上地衡風を座標平面上に投影し、カーネル密度推定した結果を示す(図 3)。Pressure driven channeling が発生した時の地上地衡風の東西成分の中央値は -5.93、南北成分の中央値は 5.90 であった。これは、地上地衡風の

東西成分の絶対値と南北成分の絶対値がほぼ等しい値であり、地上地衡風が谷の走向とある程度の角度をなしていることを示している。一方、forced channeling が発生した時の地上地衡風の東西成分と南北成分の中央値はそれぞれ -2.70, 9.21 であった。これは、地上地衡風の南北成分の絶対値が東西成分の絶対値に対して非常に大きく、地上地衡風向が谷の走向とほぼ等しいことを示している。これらの各 channeling 吹走時の地上地衡風の特徴は、Gross and Wippermann (1987) の主張と非常に整合的である。また、各 channeling 流の東西成分と南北成分の中央値の差が統計的に有意かどうかを確認するためにマン・ホイットニーの U 検定を行い、有意水準 1% で統計的に有意であることを確認した。さらに、この有意な差は谷内部の他の観測点でも認められるものであり、谷内部で一般的に見られる特徴であると考えられる。

3.3. Channeling 流の出現頻度と地上地衡風の関係

図 4 に盛岡において各 channeling 流の出現頻度が 50% 以上を占めた領域を表した結果を示す。Pressure driven channeling が過半数を占める領域は、座標平面の左下(地上地衡風の東西成分の方が南北成分よりも大きい領域)を中心に分布している。この領域では地上地衡風の谷筋に沿った成分が小さく、代わりに気圧傾度力の谷筋に沿った成分が大きくなるため、pressure driven channeling のメカニズムに照らし合わせても整合的である。また、forced channeling が過半数を占める領域は、座標平面の右上(地上地衡風の南北成分が東西成分よりも大きい領域)を中心に分布している。この領域では地上地衡風の谷筋に沿った成分が大きくなるため、forced channeling のメカニズムを考慮しても矛盾は無い。これらの領域では、地上地衡風の向きや大きさによって地上風向がある程度説明できることが示唆される。さらに、pressure driven channeling が卓越する領域と forced channeling が卓越する領域は互いに隣接しているわけではなく、両者の間にはどちらの channeling 流も過半数を占めることができない領域が帯状に広がっている。この領域では、南よりの風

が卓越するのか北寄りの風が卓越するのか (どちらの channeling 流が卓越するか) が地上地衡風だけでは説明できないことが示唆される。

3.4. 地上風の平均有効ベクトル長

3.3. で得られたどちらの channeling 流も過半数を占められない領域について議論を深めるため、地上風ベクトルの単位ベクトルの平均有効ベクトル長 (mean resultant length) を調べた。平均有効ベクトル長はベクトルの向きのばらつき具合を表す統計量であり、1 に近いほどばらつきが小さく、0 に近いほどばらつきが大きいことを示す。図 5 に築館 (仙台平野) と盛岡における地上風単位ベクトルの平均有効ベクトル長の分布図を示す。築館では原点付近を中心に平均有効ベクトル長が小さい領域が広がり、原点から遠ざかるにしたがって平均有効ベクトル長が大きくなっていく同心円状のパターンが確認できる。原点付近は地上地衡風が弱いいため、局地循環が卓越していると考えられる。局地循環に伴う風は昼間と夜間で風向きが逆転するため、昼夜を区別せずに集約すると平均有効ベクトル長は小さくなる。地上地衡風が強くなるにしたがって局地循環は発達しにくくなり、総観規模の流れの影響を受けた風 (地上地衡風に近い向きの風) が卓越するようになる。

一方、盛岡では平均有効ベクトル長が相対的に小さい領域が第二象限から第四象限にかけて帯状に広がっている。この領域は、前述のどちらの channeling 流も過半数を占められない領域に対応している。平野部と同様に、原点に近い領域では地上地衡風が弱く、局地循環に伴う風が卓越している可能性が高い。しかし、原点から比較的距離があり地上地衡風が強くても風向のばらつきが大きい領域がある。この領域については、地上地衡風だけでは地上風向を説明するには不十分であり、別の要素を導入した議論が必要である。先行研究でも挙げられている安定層の有無などの条件を加味すれば、地上風の振る舞いを説明する際の不確定な部分を減らしていくことができると考えられる。但し、そのメカニズムの解明にあたっては数値シミュレーション

を用いて地形や大気の変化させた感度実験を行う必要があるだろう。

4. 結論

岩手県の北上盆地から宮城県の仙台平野を対象に、地上地衡風に着目した channeling 流の気候学的な解析を行い、以下の結果を得た。

地上地衡風の東西成分と南北成分で張られた平面上において、pressure driven channeling と forced channeling が吹走した時の地上地衡風の分布が明瞭に分かれることが確認できた。これは、Gross and Wippermann (1987) の主張を強く支持するものであるとともに、pressure driven channeling および forced channeling の吹走に関して総観規模の流れが重要な要素であることを示唆している。

Pressure driven channeling と forced channeling が卓越する領域の間に風向のばらつきが大きい帯状の領域が存在した。この領域では、地上風向が地上地衡風だけでは規定されず、安定度の有無などの他の要因の寄与が大きいことが示唆される。また、地上風向が規定されるメカニズムについては、数値シミュレーションによる地形や大気の感度実験を行う必要があるだろう。

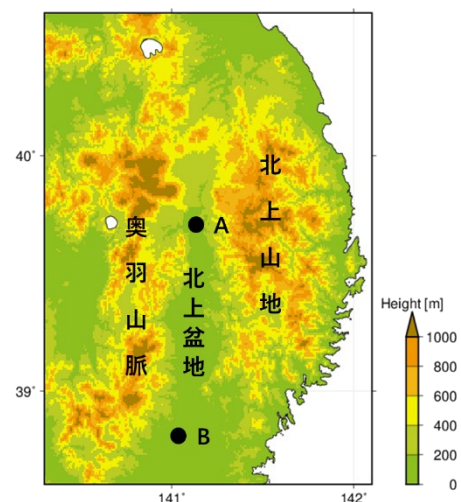


図 1：解析対象地域

(A：盛岡 (北上盆地), B：築館 (仙台平野))

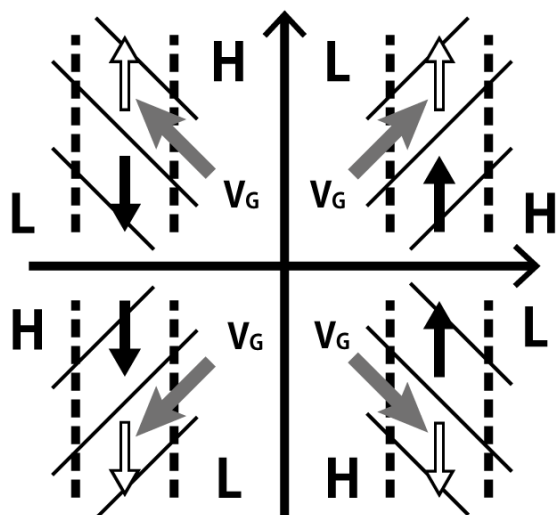


図2：地上地衡風ベクトルの東西成分 (x 軸) および南北成分 (y 軸) を軸とする座標平面の模式図。(破線：谷, H：高気圧, L：低気圧, V_G ：地上地衡風, 黒矢印：pressure driven channeling, 白矢印：forced channeling)

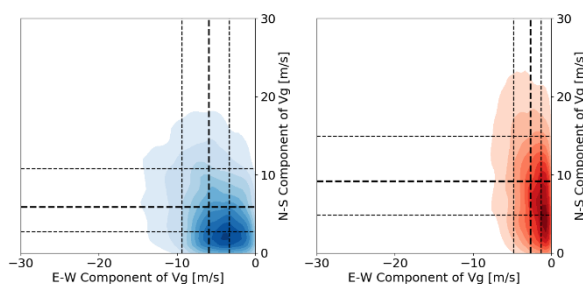


図3：盛岡において pressure driven channeling (左) および forced channeling (右) が吹走した時の地上地衡風のカーネル密度分布 (第二象限のみ)。太破線は中央値を, 細破線は第1四分位点および第3四分位点を表す。

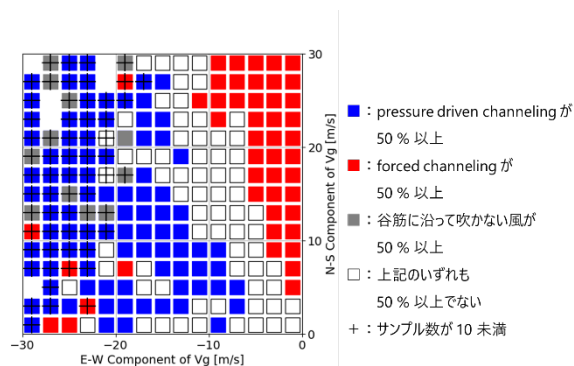


図4：盛岡における各 channeling 流の吹走頻度 (第二象限のみ)。

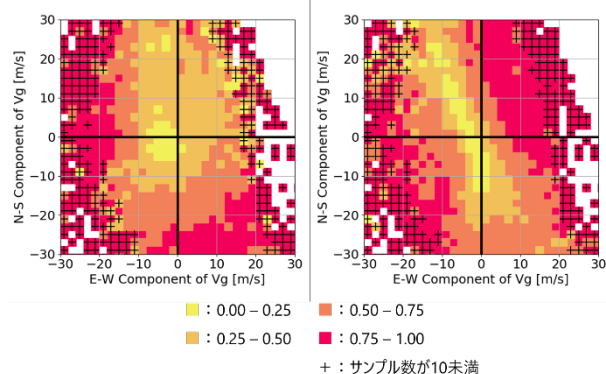


図5：築館 (左) および盛岡 (右) における地上風単位ベクトルの平均有効ベクトル長。

謝辞

本研究は、総合科学技術・イノベーション会議のSIP (戦略的イノベーション創造プログラム) 「次世代農林水産業創造技術」 (管理法人：農研機構生物系特定産業技術研究支援センター) の支援を受けて行った。

参考文献

- Eckman, R. M., (1998): Observations and numerical simulations of winds within a broad forested valley. *J. Appl. Meteor.*, 37(2), 206-219.
- Gross, G. and F. Wippermann, (1987): Channeling and countercurrent in the upper Rhine Valley: Numerical simulations. *J. Appl. Meteor. Climatol.*, 26(10), 1293-1304.
- Kalthoff, N. and B. Vogel, (1992): Counter-current and channelling effect under stable stratification in the area of Karlsruhe. *Theor. Appl. Climatol.*, 45(2), 113-126.
- Weber, R. O. and P. Kaufmann, (1998): Relationship of synoptic winds and complex terrain flows during the MISTRAL field experiment. *J. Appl. Meteor.*, 37(11), 1486-1496.
- Whiteman, C. D. and J. C. Doran, (1993): The relationship between overlying synoptic-scale flows and winds within a valley. *J. Appl. Meteor.*, 32(11), 1669-1682.