

山地森林斜面における山谷風の特徴

小坂 泉・小林将大・瀧澤英紀(日大生物資源)

要旨：本研究では山地森林斜面における山谷風の特徴を明らかにすることを目的とし、群馬県利根郡みなかみ町の日本大学演習林の山頂と中腹に設置された観測塔で気象観測を行った。日中の風向は、冬季に山頂で北東、中腹で南西となったが、夏季に山頂で南西、中腹で北東と逆転した。日中の約6割のデータは、山頂の風速(U_{top})より中腹の風速(U_{mid})が大きくなった。 U_{top} に比べ U_{mid} が大きかつ U_{mid} が1.5m/sec以上の場合、山頂の風向は45°付近に、山頂の風向は225°~270°の範囲に多く分布し、5月では中腹と山頂の温位差 $\Delta\theta$ ($\Delta\theta=\theta_{mid}-\theta_{top}$)の減少にともない中腹と山頂の風速差 ΔU ($\Delta U=U_{mid}-U_{top}$)が増加する傾向がみられた。

キーワード：山地斜面, 風向, 斜面上昇風, 温位

Abstract : To investigate the characteristics of mountain and valley winds over a cool-temperate deciduous forest on a mountain slope, meteorological observations were made from towers located on the mid-slope and summit of Nihon University Forest in Minakami-machi, Tone-gun, Gunma, Japan. During the daytime, the wind was from the southwest at the mid-slope site and from the northeast at the summit in winter, while it was from the northeast at the mid-slope site and the southwest at the summit site in summer. The wind speed at the mid-slope site (U_{mid}) was greater than that at the summit site (U_{top}) approximately 60% of the time during the daytime. U_{mid} was greater than U_{top} and exceeded 1.5 m/s, the wind direction at the summit site was from approximately 45°, while the wind direction at the mid-slope site was 225–270°. In May, the difference in the wind speed ΔU ($\Delta U=U_{mid}-U_{top}$) tended to increase as the difference in the potential temperature $\Delta\theta$ ($\Delta\theta=\theta_{mid}-\theta_{top}$) decreased.

Keywords : Mountain slope, Wind direction, Upslope wind, Potential temperature

I はじめに

森林は地球上の地表面の約30%を占めているため、地表面と大気間の熱・水・CO₂の交換に大きな影響を与える。近年、大気-森林間の熱・水・CO₂移動の観測では、空間の平均的なフラックス(単位時間・単位面積あたりの吸収・放出量)を精度高く測定する渦相関法が広く用いられる。しかし、熱収支の視点では、純放射量と貯熱量の差が、渦相関法より求まる顕熱と潜熱の和と釣り合わないインバランス問題があり、全世界の大多数の観測地点でこの問題が生じている。Wilson *et al.*, (5)は、様々な植生群落上で行われた渦相関法の測定結果から、渦相関法によって求まる顕熱と潜熱を過少な、もしくは有効エネルギーを過大に評価していることを報告している。Saigusa *et al.*, (3)は標高1,420m、平均樹高15~20mの山岳斜面の冷温帯落葉広葉樹林において乱流観測を行い、渦相関法より求めた顕熱と潜熱の和が有効エネルギーに比べて25~35%程度小さい傾向があることを示している。現時点において熱収支のインバランスのメカニズムは未だに明らかにされていないが、

地形の起伏などの観測条件により生じる系統的な熱移動(例えば、山谷風など)の影響などが考えられている(2)。

森林は一般的に山地に多く分布し、山地は複雑な斜面で構成されている。このような複雑な地表面では、日中に加熱された斜面上で温められ軽くなった空気が斜面に沿って上昇し、夜間の放射冷却によって冷やされた空気が重力によって斜面を下降する山谷風が発生し、平坦地と違った熱交換が行われている(1)。このため、森林樹冠上の風の流れのみならず、1段スケールの大きな流域界の尾根や谷といった風の流れを明らかにした上で、山地森林と大気、熱、水、CO₂交換を評価することが必要であると考えられる。

そこで本研究では、山頂と中腹に設置された観測塔で得られた1年間の気象観測データ(風向、風速および気温)を比較し、山地森林斜面で生じる山谷風の特徴を明らかにすることを目的とする。

II 方法

1. 観測地概要 観測地は群馬県利根郡みなかみ町

Izumi KOSAKA, Masahiro KOBAYASHI, Hideki TAKIZAWA (College of Bioresource Sciences, Nihon University, 1866 Kameino, Fujisawa, Kanagawa 252-0880, Japan) Characteristics of mountain and valley winds on a forested mountain slope

の日本大学水上演習林(36°48'N, 139°02'E, 標高 650-985m)で、ブナ(*Fagus crenate*), コナラ(*Quercus serrata*)などの落葉広葉樹が混在している。測定は高平山の山頂サイト(標高 985m)および中腹サイト(標高 765m)で行われた。図-1a)は調査地の地形図、図-1b)は中腹サイトから山頂サイトにおける断面図を示す。中腹サイトは採石場跡地で、比較的平坦である。中腹サイトから南西方向に谷地形が発達する。山頂サイトは高平山の山頂であり、その周辺において背丈の高い樹木は見られないが 1m~2m の草木が生えている。中腹サイトと山頂サイトの標高差および水平距離はそれぞれ 220m, 400m であり、両サイト間の平均勾配は約 30°である(図-1b))。

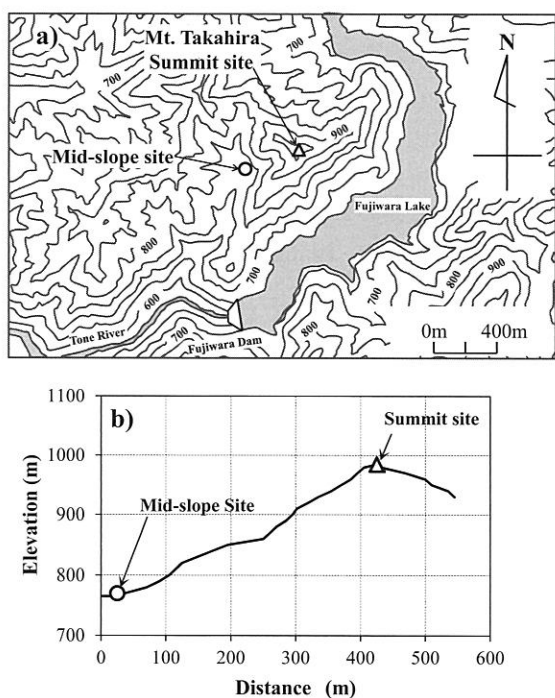


図-1. a) 山頂サイトと中腹サイトの位置を示した地形図および b) 中腹サイトから山頂サイトにおける断面図

Fig.1 a) Topographic map showing the location of the summit site and the mid-slope site b) Topographical elevation from the summit site to the mid-slope site

Legends: ○, Mid-slope site; △, Summit site

2. 風速, 風向および気温の観測 中腹サイトでは高さ 6m の観測塔の頂上部に、山頂サイトでは 3m の単管パイプの先端に風速計(AC750, Makino), 風向計(VF016, Makino), 温湿度センサー(HMP155A, Vaisala)を設置し、データロガー(中腹サイトでは CR23X, 山

頂サイトでは CR10X, 共に Campbell)を用いて 10 分間隔で記録させた。本研究では、2011 年 9 月から 2012 年 8 月の期間のデータを対象とし、風速のデータは 0.2m/sec 以上のものを解析に使用した。

III 結果および考察

1. 月平均風速, 風向および気温の季節変化 図-2 a)~c)は、山頂サイトと中腹サイトにおける日中と夜間の月平均風速, 風向および気温の季節変化を示したものである。図-2 において 1)は日中 09:00~15:00, 2)は夜間 21:00~03:00 の間のデータを月平均した。

図-2 a1)における日中の風速の季節変化は、山頂サイトと中腹サイトにおいてあまり明瞭ではないが、両サイトとも 2012 年 4 月から 2012 年 8 月にかけて減少する傾向がみられた。図-2 a2)において、山頂サイトにおける夜間の風速は明瞭な季節変化を示し、秋から冬にかけて増加し、4 月に 2.5m/sec でピークをもち、それ以降減少する傾向を示した。中腹サイトの夜間の風速は、0.5m/sec 前後の弱風で、季節変化は不明瞭である。

図-2 b1)における日中の風向は、2011 年 10 月から 2012 年 2 月の間、山頂サイトでは 45°付近(北東方向)、中腹サイトでは 225°付近(南西方向)であり、ほぼ 180°異なる。また 2012 年 6 月から 2012 年 8 月の間の風向は、山頂サイトでは 225°付近(南西方向)、中腹サイトでは 45°付近(北東方向)であり、ほぼ 180°異なる。つまり、日中の風向は、山頂サイトと中腹サイトにおいて冬季と夏季で逆転した。図-2 b2)における夜間の風向は、山頂サイトでは 45°付近(北東方向)、中腹サイトでは 315°付近(北西方向)であり、季節変化はみられず、通年ほぼ一定の風向であった。

図-2 c1)および c2)において、日中と夜間の気温は、山頂サイトと中腹サイトでほぼ同様の季節変化を示し、秋から冬にかけて減少し、1 月に -5°C 前後の最低気温を示し、夏に向けて上昇する傾向がみられた。

2. 山頂サイトと中腹サイトにおける風速の関係 図-3a)~b)は、山頂サイトと中腹サイトの 1 時間平均風速の関係を示し、図-3a)は日中(09:00~15:00), 図-3b)は夜間(21:00~03:00)に限定したものを示す。図-3a)において、山頂サイトの風速(以下、 U_{top})と中腹サイトの風速(以下、 U_{mid})は 2m/sec 以下に多く分布する。図中の 1:1 のラインに対して U_{mid} を上側にやや多く分布し、このデータは日中全体の 59% を占め、全ての季節のデータが含まれていた。

図-3b)において、 U_{top} 分布範囲は広いが、 U_{mid}

は 1m/sec 以下に多く分布する。図中の 1:1 のラインに対して U_{top} を下側に多く分布し、そのデータは夜間全体の 91%を占める。

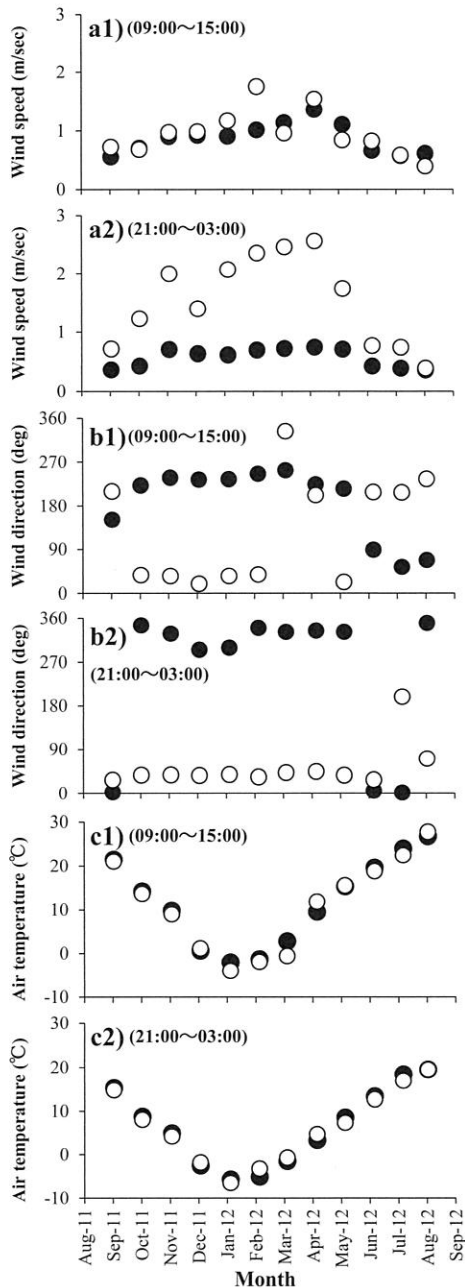


図-2. 山頂サイトと中腹サイトにおける 1)日中(09:00~15:00)と 2)夜間(21:00~03:00)の月平均 a)風速, b)風向および c)気温の季節変化

Fig.2 Seasonal changes in monthly a) wind speed, b) wind direction and c) air temperature at the summit site and the mid-slope site

1) Daytime(average between 0900-1500h)
 2) Nighttime(average between 2100-0300h)
 Legends: ●, Mid-slope site; ○, Summit site

塩谷(4)は、円形の丘や単調な斜面などの頂上では、風速は増強する研究事例をレビューしている。図-3a)において、日中のデータの約 6 割が、山頂の風速である U_{top} に比べ、中腹サイトの風速である U_{mid} が大きく、既往の報告とは逆の傾向を示している。そこで、 U_{top} に比べ U_{mid} が大きく、かつ U_{mid} が 1.0m/sec 以上の場合について、山頂サイトの風向(以下、 WD_{top})と中腹サイトの風向(以下、 WD_{mid})が、どのような関係にあるかを次節で調べる。

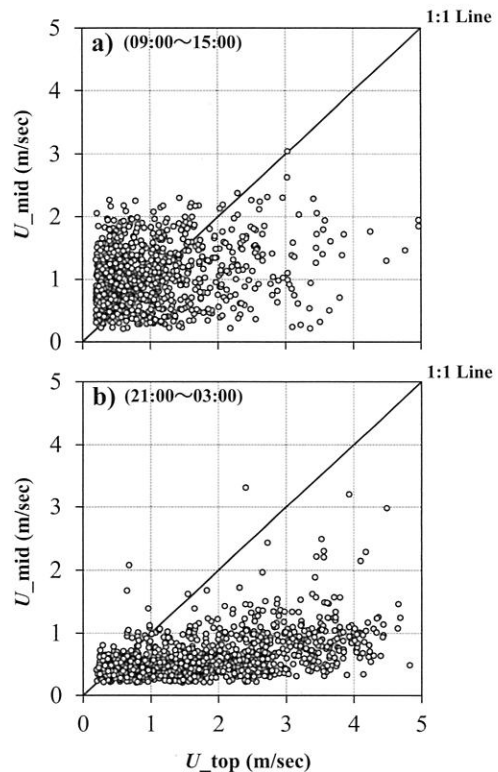


図-3. 山頂サイトと中腹サイトの風速の関係
 a)日中(09:00~15:00), b)夜間(21:00~03:00)

Fig.3 Relationships between hourly wind speed at the summit site (U_{top}) and hourly wind speed at the mid-slope site (U_{mid})

a) Daytime(0900-1500h), b) Nighttime(2100-0300h)

3. 山頂サイトと中腹サイトにおける風速の関係 図-4は、 U_{top} に比べ U_{mid} が大きい場合の山頂サイトと中腹サイトの時間ベクトル平均風向の関係を示す。図-4 において、 U_{mid} が 1.0m/sec 以上で 1.5m/sec 未満のものを黒点、 U_{mid} が 1.5m/sec 以上のものを白点で示す。 U_{mid} が 1.0m/sec 以上の場合、 WD_{top} は 45°付近に多く分布し、225°付近にもばらついて分布している。 WD_{mid} は概ね 180°~315°の範囲に幅

広く分布する。 U_{mid} が 1.5m/sec 以上の場合, WD_{top} は 45°付近に, WD_{mid} は 225°~270°の範囲に集中して分布する。これら結果から, 中腹サイトから南西(225°)方向の谷部の斜面が熱せられ, 斜面上昇風が発生し, 山頂サイトでは強い上昇流により水平方向の風速が弱くなり, 山頂の上空では斜面上昇風の補償風による反流が発生したため, WD_{top} と WD_{mid} は 180°異なったものと推察される。

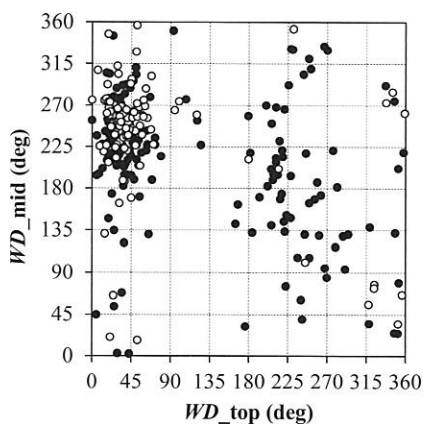


図-4. 日中(09:00~15:00)における山頂サイトと中腹サイトの風向の関係

Fig.4 Relationship between hourly wind direction at the summit site(WD_{top}) and hourly wind direction at the mid-slope site (WD_{mid}) during the daytime (0900-1500h)

Legends: ●, 1.0m/sec < U_{mid} < 1.5m/sec; ○, U_{mid} > 1.5m/sec

4. 山頂サイトと中腹サイトにおける温位差と風速差の関係 図-5 は, 図-4 において白点で示した U_{top} に比べ U_{mid} が大きく, かつ U_{mid} が 1.5m/sec 以上のものについて, 山頂サイトと中腹サイトの温位差 $\Delta\theta$ ($\Delta\theta = \theta_{mid} - \theta_{top}$) と風速差 ΔU ($\Delta U = U_{mid} - U_{top}$) の関係を示した。図-5 において, 5月のデータを黒点で, それ以外のデータを白点で示した。 $\Delta\theta$ と ΔU の関係において, $\Delta\theta$ の減少にともない, 言い換えれば山頂が中腹よりも高温になるにつれて ΔU が増加する傾向をもつものと, $\Delta\theta$ に関係なく ΔU が増加する傾向をもつものに大きく2つに分かれ, 5月のデータは前者にあたる。本試験地では5月に雪解けが終り, 樹木が展葉する。このため, 地表面の状況は一様でなく, 面的に熱エネルギーの不均一が生じると考えられる。つまり, 山頂が中腹よりも高温かつ風速が弱い状況から, 山地森林における熱収支のインバランスをもたらす原因は, 風の流れによる可能性

が高いと考えられる。本試験地における風の流れは, 試験地の小地形および地表面の熱特性によってもたらされる局地循環の影響や, 試験地の周辺地域を囲む標高2,000m前後の山地および利根川上流域に発達した谷地形などスケールの大きな地形の影響を受けていると考えられる。

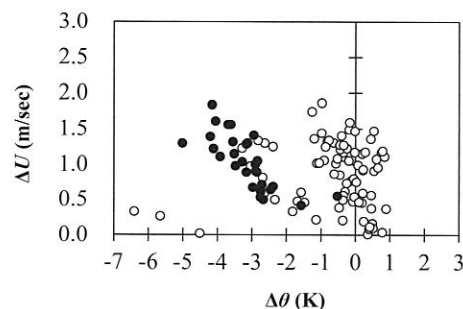


図-5. 日中(09:00~15:00)における山頂サイトと中腹サイトの温位差 $\Delta\theta$ と風速差 ΔU の関係

Fig.5 Relationship between the difference in the potential temperature $\Delta\theta$ ($\Delta\theta = \theta_{mid} - \theta_{top}$) and the difference in the wind speed ΔU ($\Delta U = U_{mid} - U_{top}$) during the daytime (0900-1500h)

Legends: ●, The data in May; ○, The data in the other season

引用文献

- (1) 近藤純正 (1994) 水環境の気象学—地表面の水収支・熱収支—. 337pp, 朝倉書店, 東京.
- (2) 宮崎真・山本晋 (2001) 熱収支インバランス研究報告. 天気 48 : 711-713.
- (3) SAIGUSA N, YAMAMOTO S, MURAYAMA S, KONDO H, NISHIMURA N (2002) Gross primary production and net ecosystem exchange of a cool-temperate deciduous forest estimated by the eddy covariance method. Agric For Meteorol 112 : 203-215.
- (4) 塩谷正雄 (1987) 地物・小地形と風. 天気 34 : 491-506.
- (5) WILSON K, ALLEN G, FALGE E, AUBINET M, BALDOCCHI D, BERBIGIER P, BERNHOFER C, CEULEMANS R, DOLMAN H, CHRIS F, GRELLA A, IBROM A, LAW BE, KOWALSKA, MEYERS T, MONCRIEFF J, MONSON R, OECHEL W, TENHUNEN J, VALENTIN R, VERMA S (2002) Energy balance closure at FLUXNET sites. Agric For Meteorol 113 : 223-243.