

阿武隈高地（福島県浜通り地方）における気温逆転現象の発生

佐野哲也（森林総合研究所）

要旨：気温逆転現象とは高度に伴う大気温度の変化が通常と異なる現象のことであり、標高の上昇に伴い気温が上昇することをいう。発生時には、雲（霧や靄）が発生し、汚染物質が下層に滞留し易くなるなど様々な問題が起きる。本研究では阿武隈高地の海拔約 200, 400, 600, 750m の場所で 2010 年に計測した温度データより、この地方に見られる気温逆転現象の発生パターンを解析した。逆転現象は年間を通じて定期的に発生し、小名浜（海拔 3.3m）より山地の気温が高くなる頻度は海拔約 400m 地点で最も高く年間 21.8% となった。季節別にみると、海拔約 400m 地点の気温が小名浜に比べ高くなる頻度は、冬季（12～2月）よりも夏季（6～8月）で高くなることが認められた。霧や靄の発生を伴う逆転現象は、太平洋岸が移動性高気圧や太平洋高気圧で覆われ、南からの海風が卓越する時に頻繁に発生する傾向が見られた。

キーワード：気温逆転、山地気候、霧、靄、大気汚染

Abstract: Temperature inversion is a condition in which the temperature of atmosphere increases with altitude in contrast to the normal. When a inversion develops, cloud (fog or mist) is made and pollutant is trapped at low levels. This study investigated the occurrence pattern of temperature inversion at Abukuma Mountains in Hamadōri District, Fukushima, Japan, by using the temperature data of the stations located at about 200, 400, 600, and 750 m a.s.l.. Inversion was observed periodically throughout year and its occurrence frequency was highest at 400 m a.s.l. (about 21.8%/year). The case where the mountain station (401m a.s.l.) measured higher temperature compared to Onahama (3.3m a.s.l.) occurred more frequently in summer (June to August) than winter (December to February). Temperature inversion accompanied by fog or mist tended to occur frequently when migratory anticyclones or Pacific High covered at eastern or southern part of pacific coast of Japan and sea breeze from southern direction developed.

Keywords: temperature inversion, mountain climate, fog, mist, air pollution

I はじめに

気温逆転現象とは高度に伴う大気温度の変化が通常と異なる現象のことであり、通常ならば標高の上昇に伴い気温が低下するところが、逆に上昇、もしくは変化しないことをいう (6)。世界中の山地で観測されており、日本でも、八ヶ岳 (7) や筑波山 (1) など多くの山地で観測事例が報告されている。

気温逆転は、いくつかの気象に関連した影響を及ぼす。一つは逆転層より下層に雲（霧や靄）を作ることである。霧や靄は、水を供給し、光を散乱させることによりいくつかの植物の生育に役立っていることが知られているが (4)、過冷却状態にある着氷性の霧や霜が発生すると植物に障害を与えてしまう (6)。また、濃い霧の発生は交通障害を引き起こす。

もう一つの影響は逆転層より下層に汚染物質がトラップされてしまうことである。下層に冷たい空気が覆っている時には、煙突などから出てくる汚染物質を含んだ暖かい空気が直ぐに冷やされ、上昇し難くなる。このような状況下では、汚染物質を含んだ空気が上方ではなく下層に滞留する恐れがあり、汚染物質の排出源が多い都市域などではス

モッグなど公害の発生が問題となる (6)。

前報 (5) において、阿武隈高地では霧や靄の発生を伴った気温逆転が頻繁に発生することを示した。本研究では、2010 年に測定した気温データを用いこの山域における逆転現象の発生パターンについて、他の気象関連事象（風、降雨、霧・靄の発生、気圧配置など）と関連付けて詳細な解析を行ったので報告する。

II 方法

阿武隈高地（仏具山：福島県いわき市、和尚山：茨城県北茨城市）の 4 つの観測点（A～D、順に海拔 221, 401, 595, 733 m : HOBO Pro2, Onset 社、設置高 1.3m）で 2010 年に継続的に測定した温度データおよび低地にある 2 つの気象観測所（小名浜および山田）で測定された 1 時間ごとの温度、風向・風力、降水量、視程のデータ (3) を解析に用いた。観測点（所）の位置を図-1 に示す。山地の観測点は尾根状立地の森林内にあり、A 点 (221m) 以外は独立的なピーク上に設置されている。植生状況については前報 (5) を参照されたい。また、気圧配置と気象概要については気象庁の HP に掲載されている天気図 (2) を参照した。

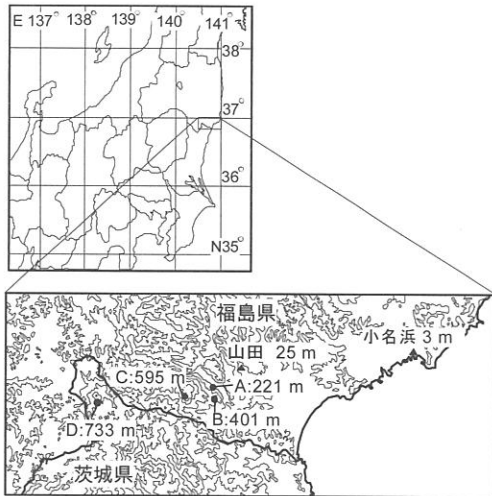


図-1. 気温観測点の位置
Figure 1 Locations of temperature measuring station

表-1. 山田と小名浜の気温差 (°C) および山田の方が小名浜より気温が上昇する頻度 (%) の季節・時刻別変化
Table 1 Statistics of the seasonal and daily changes of frequency (%) where Yamada measured higher temperature than Onahama and the mean temperature deviation (°C) of Yamada from Onahama stations. DJF=December, January, February; MAM=March, April, May; JJA=June, July, August; SON=September, October, November.

Total time (Local time 0:00-23:00)					
	DJF	MAM	JJA	SON	Total
Frequency (Yamada > Onahama)	21.8	41.1	57.6	20.8	35.4
Temperature difference (Ave.)	-1.00	-0.13	0.65	-0.89	-0.39
Day time (Local time 9:00-15:00)					
	DJF	MAM	JJA	SON	Total
Frequency (Yamada > Onahama)	35.5	68.8	78.6	45.7	57.3
Temperature difference (Ave.)	-0.2	1.0	2.1	0.0	0.7
Night time (Local time 21:00-3:00)					
	DJF	MAM	JJA	SON	Total
Frequency (Yamada > Onahama)	16.1	19.6	37.4	8.5	20.4
Temperature difference (Ave.)	-1.3	-1.0	-0.5	-1.3	-1.0

表-2. 山地の測定点 (A-E) における気温逆転発生頻度の頻度 (%) および低地との気温差 (°C: 括弧内)
(左: 小名浜; 右: 山田との比較)

Table 2 Statistics of seasonal changes of the inversion frequencies (%) and the temperature deviation (average value, °C: in parenthesis) of mountain stations (A-E) measured from Onahama(left) and Yamada (right) stations. Numbers of invasion frequency indicate the case where the mountain stations measured higher temperature than Onahama or Yamada.

Total time (Local time 0:00-23:00)											
Stations	DJF	MAM	JJA	SON	Annual	Stations	DJF	MAM	JJA	SON	Annual
A (221m a.s.l.)	10.1 (-1.9)	22.6 (-1.0)	38.6 (-0.5)	4.9 (-2.2)	19.1 (-1.4)	A (221m a.s.l.)	23.1 (-0.9)	18.9 (-0.9)	13.6 (-1.1)	11.5 (-1.3)	16.7 (-1.1)
B (401m a.s.l.)	14.6 (-2.6)	25.3 (-1.5)	36.0 (-0.8)	11.1 (-2.4)	21.8 (-1.9)	B (401m a.s.l.)	26.4 (-1.4)	23.1 (-1.4)	23.6 (-1.4)	25.5 (-1.5)	24.6 (-1.4)
C (595m a.s.l.)	10.7 (-3.7)	18.4 (-2.5)	23.6 (-1.5)	5.0 (-3.6)	14.5 (-2.9)	C (595m a.s.l.)	15.8 (-2.5)	18.3 (-2.3)	14.4 (-2.1)	11.3 (-2.7)	14.9 (-2.4)
D (733m a.s.l.)	3.9 (-5.4)	10.6 (-3.5)	9.6 (-2.4)	0.9 (-4.8)	6.3 (-4.1)	D (733m a.s.l.)	7.7 (-4.2)	9.6 (-3.4)	3.9 (-3.1)	2.8 (-3.9)	6.0 (-3.6)
Day time (Local time 9:00-15:00)											
Stations	DJF	MAM	JJA	SON	Annual	Stations	DJF	MAM	JJA	SON	Annual
A (221m a.s.l.)	5.9 (-2.2)	34.5 (-0.5)	50.5 (-0.1)	4.2 (-2.5)	23.9 (-1.3)	A (221m a.s.l.)	3.7 (-2.0)	5.3 (-1.5)	0.2 (-2.2)	0.0 (-2.5)	2.3 (-2.0)
B (401m a.s.l.)	5.2 (-3.1)	30.6 (-1.1)	35.4 (-1.1)	0.3 (-3.6)	18.0 (-2.2)	B (401m a.s.l.)	3.5 (-3.0)	7.5 (-2.1)	0.2 (-3.2)	0.3 (-3.6)	2.9 (-3.0)
C (595m a.s.l.)	4.5 (-3.9)	24.5 (-2.0)	23.6 (-1.7)	0.3 (-4.3)	13.3 (-3.0)	C (595m a.s.l.)	2.7 (-3.7)	7.8 (-3.0)	0.3 (-3.8)	0.0 (-4.3)	2.7 (-3.7)
D (733m a.s.l.)	1.9 (-6.1)	17.4 (-3.1)	12.1 (-2.3)	0.0 (-5.7)	7.9 (-4.3)	D (733m a.s.l.)	0.5 (-5.9)	5.9 (-4.1)	0.2 (-4.4)	0.0 (-5.6)	1.6 (-5.0)
Night time (Local time 21:00-3:00)											
Stations	DJF	MAM	JJA	SON	Annual	Stations	DJF	MAM	JJA	SON	Annual
A (221m a.s.l.)	9.1 (-1.7)	14.1 (-1.5)	31.5 (-0.9)	6.4 (-1.9)	15.3 (-1.5)	A (221m a.s.l.)	32.3 (-0.3)	29.0 (-0.5)	25.2 (-0.4)	20.1 (-0.6)	26.6 (-0.5)
B (401m a.s.l.)	21.1 (-1.8)	22.7 (-1.6)	40.4 (-0.4)	20.3 (-1.5)	26.2 (-1.3)	B (401m a.s.l.)	42.4 (-0.5)	37.4 (-0.6)	50.0 (+0.1)	46.5 (-0.2)	44.1 (-0.3)
C (595m a.s.l.)	15.1 (-3.1)	14.4 (-2.5)	26.4 (-1.2)	7.2 (-2.9)	15.8 (-2.4)	C (595m a.s.l.)	26.2 (-1.7)	28.7 (-1.5)	30.1 (-0.7)	20.6 (-1.7)	26.4 (-1.4)
D (733m a.s.l.)	5.6 (-4.5)	5.6 (-3.9)	6.2 (-2.4)	0.5 (-4.1)	4.5 (-3.6)	D (733m a.s.l.)	12.9 (-3.1)	13.2 (-2.7)	7.3 (-1.9)	4.7 (-2.8)	9.5 (-2.6)

III 結果および考察

1. 海側と内陸側の気温差 山地上測定点との比較に用いた小名浜と山田の気温を比較すると(表-1), 内陸側に位置する山田の日平均気温は海側の小名浜に比べ, 夏(6~8月)に高くなり, 秋~冬(9~11月, 12~2月)に低くなっていた。夏の日平均気温の差は, 山田の昼間の気温が小名浜に比べ著しく上昇(+2.1°C)したことが反映されており, 秋から冬にかけての差は, 山田の夜間の気温が小名浜に比べ著しく低下(-1.3°C)したことが強く反映されていた。一般に, 海側と内陸側の気温差は, 日中の気温上昇と夜間の放射冷却の程度が水面より陸地で大きいことによって生じるとされるが(8), 浜通り地方の低地帯で見られる海側と内陸側の気温差も同様の理由によって発生しているものと考えられる。

2. 逆転現象の発生頻度 表-2に, 低地の気象台と山地上の測定点(A-D)に見られた気温差の季節・時間別平均値を, 山地上の測定点の気温が低地の気象台に比べ高くなり気温逆転が起きていた頻度とともに示す。年間の逆転現象発生頻度は, 小名浜と山田を基準とした場合とも大きな違いが見られず, B地点(401m)で最も高くなった(小名浜21.8%, 山田24.6%)。しかし, 小名浜を基準とした場合と山田を基準とした場合では, 逆転現象の季節・時間別発生パターンが異なっていた。季節別にみると, 小名浜を基準とした場合は, 季節差が大きく昼夜とも夏に発生頻度が高くなっていた。これは, 内陸に位置する山地の気温上昇が日射の強い夏に大きくなることに加え, 小名浜の気温が冷たい海風の流入や夜間の放射冷却によって山地より低くなることが原因であると考えられる。一方, 山田を基準

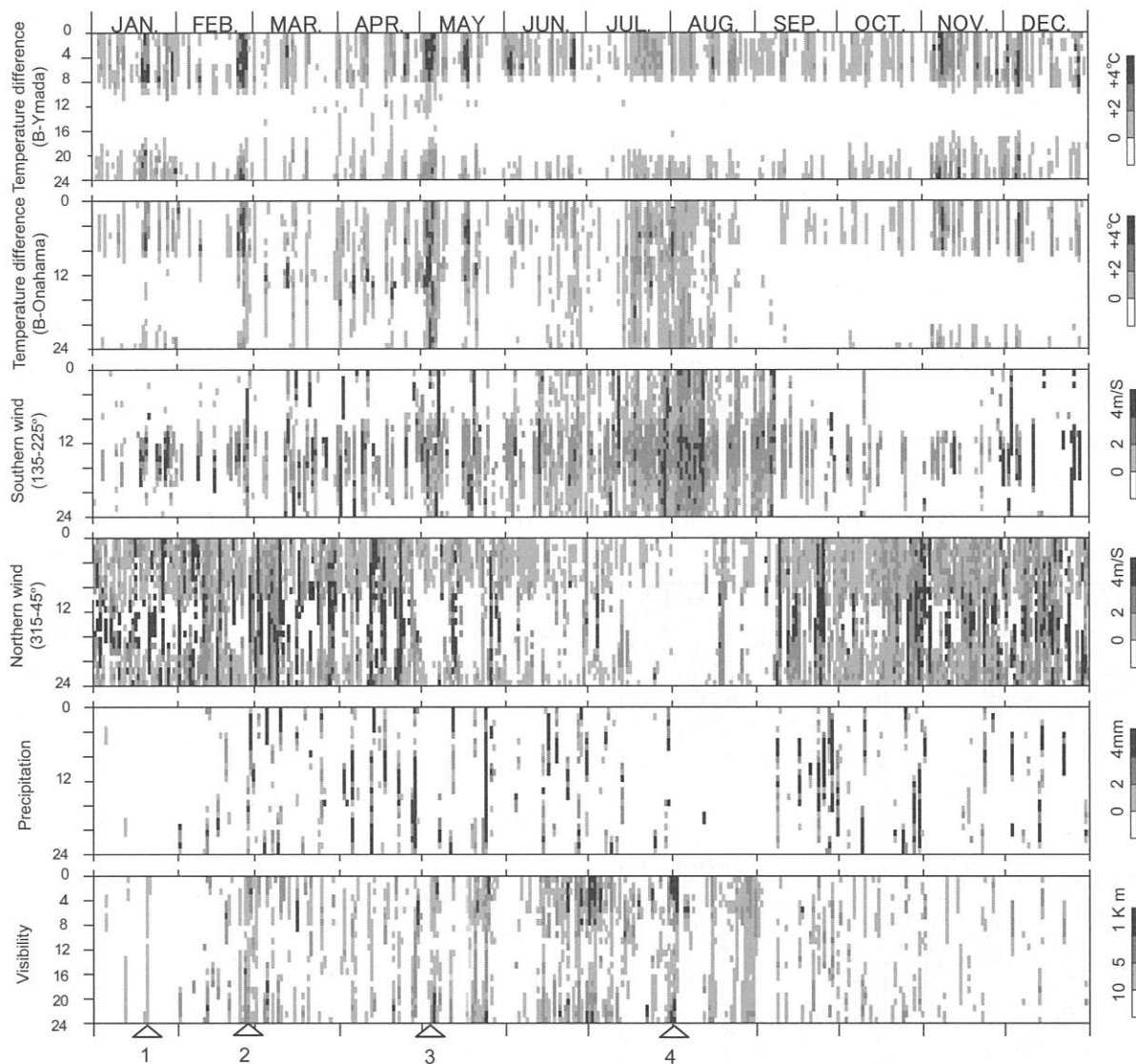


図-2. 気温逆転現象と他の気象関連事象の発生パターンの対応関係

1. 観測点Bと山田の気温差, 2. 観測点Bと小名浜の気温差, 3. 南風(135-225°)の発生, 4.北風(335-45°), 5.降雨, 6. 視程(図中△1~4で示した、1/20, 2/25, 5/5, 8/1については図-3にて天気図を示した)

Fig. 2 Relationship between the occurrence patterns of temperature inversion and other weather-related phenomenon

1. Temperature difference of station B from Yamada; 2. Temperature difference of station B from Onahama; 3. Occurrence of southern wind (135-225°); 4. Occurrence of northern wind (335-45°); 5. Precipitation; and 6. Visibility. △1-4 in the figure indicate the days the (1/20, 2/25, 5/5, and 8/1, 2010) weather surface data is shown in Fig.3.

とした場合は、季節差が小さく、日射による気温上昇の程度が内陸に位置する山田と山地上の測定点で同程度であることが考えられた。時刻別に見ると、山田を基準とした場合は、気温逆転が昼間にほとんど起こらず夜間を中心に発生していた。小名浜を基準とした場合も、日射による気温上昇の影響が小さいと考えられた秋・冬においては、夜間に気温逆転の発生頻度が高くなった。この夜間における低地の気温低下は、放射冷却や冷された山地空気の下降流入(8)が原因であると考えられる。

3. 逆転現象と他の気象関連事象(風, 降雨, 霧・靄)

の関連性 図-2に、気温逆転の発生頻度が最も高かったB地点について、年間を通じた気温逆転の発生パターンと

小名浜における(1)南風,(2)北風,(3)降雨,(4)霧・靄の発生パターンを同時に示した。表-2で示されたように、山田を基準とした場合の気温逆転の発生頻度は、年間を通じて夜間を中心に発生していた。一方、小名浜を基準とした場合は、夜間を中心に気温が逆転していることは変わらないが、日中でも気温逆転が解消されない時が定期的に起きていた。

気温逆転の発生を小名浜における南風(風向135~225°)と北風(風向315~45°)の発生パターンと関連付けて見てみると、南風が日中に発生した時に起き、強い北風が発生した時には起こらない傾向が見られた。小名浜で日中に南風が発生する頻度は、冬, 春, 秋については週に1回程度

であり、梅雨入りから9月の初旬にかけて多くなっていた。特に梅雨明けから8月の半ばまでの1カ月間は南風が卓越し、逆転現象の発生もこれに対応して長期間続いた。

また、逆転現象の発生は、小名浜における霧（視程 1km 未満）や靄（視程 1km 以上 10km 未満）の発生とも対応している傾向が見られた。降雨時に蒸発した雨粒が小さな水粒となり霧や靄になる場合もあるが、降雨が見られない時も南風が発生し逆転現象が見られる場合には霧や靄が発生することが多かった。小名浜における南風は海風に相当するが、海上で冷やされた空気が、内陸の暖かい空気に侵入する時には局地的な前線性の逆転層（海風前線）が発生し霧や靄を伴う事があるとされる(8)。ただし、南風（海風）の弱い夜間における霧や靄および逆転現象の発生はこれでは説明がつかず、放射冷却など他のメカニズムも関与していると考えられる。

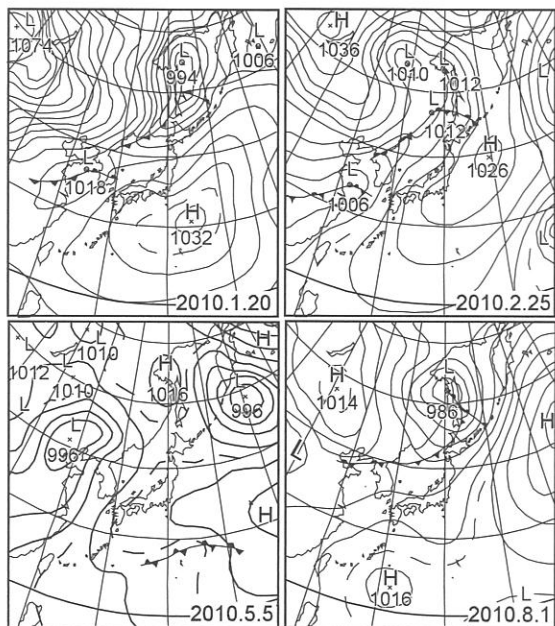


図-3. 霧・靄を伴う気温逆転発生時の午前 9:00 の気圧配置 2010 年 1/20, 2/25, 5/5, 8/1 (順に、図 2 中の△1~4: 気象庁データ (2) より)

Fig.3 Surface weather analysis at 9:00 for Japan on January 20, February 25, May 5, and August 1, 2010 (△1~4 in Fig. 2, respectively) .

4. 逆転現象の発生と気圧配置 図-3 に B 地点で強い気温逆転が起きた、2010 年 1 月 20 日、2 月 25 日、5 月 5 日、8 月 1 日 (図-2 にて△1~4 で示した日) の午前 9 時の気圧配置を各々示す。1 月 20 日は移動性高気圧が太平洋上に進み暖気が流れ込み、小名浜の最高気温は 12.3℃と非常に高くなっていた (3)。天候は晴れていたが、日中のほとんどの時間で霧の発生が見られた (図-2)。2 月 25 日は移動性高気圧が三陸沖にあり、オホーツク海に進んだ低気圧に向かって暖気が流れ込み、関東では春一番が観測され、東京湾で濃い霧が発生し空の足が乱れたという記録がある

(2)。5 月 5 日は太平洋上が高気圧に覆われ、南風が流入し小名浜の最高気温は 24.3℃と高くなっていた (3)。この時の気温逆転は 3 日程続く長いものであったが、5 月 3 日には関東地方において 2010 年初のスモッグ気象情報が発表されている (2)。8 月 1 日は太平洋上が高気圧に覆われ、全国的に朝の平均気温が高くなったという記録があり、小名浜では朝と夜に濃い霧が発生していた (図-2)。このように、霧や靄を伴う気温逆転が発生した時の気圧配置はどれも類似しており、移動性高気圧や太平洋高気圧が太平洋岸を覆い、ロシア沿海州、ハバロフスク地方に低気圧が発達する場合に多い傾向が見られた。

IV おわりに

日射による気温上昇や放射冷却等の影響もあるが、小名浜と山田の気温との比較から判断しても、阿武隈高地では年間を通じて標高 400m 程度の場所を中心に逆転現象が定期的に発生していることが予測された。また、霧や靄を伴う気温逆転の発生は気圧配置や南風の発生など他の気象関連事象と関連があることが示唆された。今後はこれらに基づいて逆転現象の予測が可能であるか検討する予定である。

謝辞 本研究の一部は、公益信託エスベック地球環境研究・技術基金より助成金を受け実施した。

引用文献

- (1) 堀正岳・植田宏昭・野原大輔 (2006) 筑波山西側斜面における斜面暖温帯の発生頻度と時間的変化特性, 地理学評論, 79(1): 26-38
- (2) 気象庁 (2010) 気象庁 Web 資料: 日々の天気図 (電子閲覧室). <http://www.data.jma.go.jp/>
- (3) 気象庁 (2010) 気象庁 Web 資料: 過去の気象データ (電子閲覧室). <http://www.data.jma.go.jp/>
- (4) RITTER A., REGALADO C.M., ASCHAN G. (2009) Fog reduces transpiration in tree species of Canarian relict heath-laurel cloud forest (Garajonay National park, Spain) Tree physiology, 29:517-528.
- (5) 佐野哲也・小出大 (2011) シイ林の太平洋側北限における植生の垂直分布構造と温湿度環境, 関東森林研究, 62:195-198
- (6) STRAHLER A., STRAHLER A. (2004) Introducing physical geography 4th ed., John Willy & Sons, Inc. 728pp
- (7) 田中博春・谷本陽一・三上武彦 (2000) 八ヶ岳南における高標高逆転現象, 地学雑誌, 109(5): 703-718.
- (8) 吉野正敏 (1988) 新版小気候, 地人書館, 288pp