

## 論文

沖縄本島北部の森林伐採に伴う林内微気象環境の変化<sup>\*1</sup>壁谷直記<sup>\*2</sup>・清水 晃<sup>\*2</sup>・大貫靖浩<sup>\*3</sup>・新垣拓也<sup>\*4</sup>・古堅 公<sup>\*5</sup>・生沢 均<sup>\*6</sup>・清水貴範<sup>\*3</sup>

壁谷直記・清水 晃・大貫靖浩・新垣拓也・古堅 公・生沢 均・清水貴範：沖縄本島北部の森林伐採に伴う林内微気象環境の変化 九州森林研究 69：65－70，2016 沖縄本島北部において森林伐採が林内微気象環境へ与える影響を把握するために、伐採区と対照区を設けて伐採試験を実施した。調査地は、1 ha 未満の伐採を行った P1, P2 プロットと 3.5 ha の伐採を行った P3 プロットの 3 地点である。P2 プロットによると、対照区と伐採区で明瞭に差異が現れた測定項目は、風速、日射量であった。これらの項目における顕著な差異は、伐採による“物理的な樹木の被覆の除去効果”によって、伐採区の測定地点に直接、風や日差しが当たるようになったことによる。一方、気温や湿度などの値は伐採跡地の環境のみならず観測地点へ流入する周囲の大気の影響を受けるために、伐採区と対照区の差異は比較的小さくなることが明らかになった。

キーワード：亜熱帯島嶼、森林伐採、林内微気象

## I. はじめに

森林伐採が、森林環境に及ぼす影響は、これまで個別の研究がなされてきたが、いまだに包括的な理解に関しては未解明の部分が多い。とくに、森林伐採により環境がどのような変動を受けるのかに関して、それを客観的にモニタリングして示した研究事例（萩野ら，2014）は少ない。

沖縄本島北部地域の森林は貴重な動植物の生息域として知られているが、その生息場を提供している森林における物理環境に関する研究はこれまでほとんど行われていない。また、この地域は同時に林業による木材生産も行われている。このため、環境保全及び生物相に配慮した森林管理手法の開発が喫緊の課題となっている。

清水ら（2011）は、沖縄本島北部の施業履歴が異なる森林内における微気象環境を現地での微気象観測結果に基づき整理した。この研究報告は、次の 3 点に要約される。

- 植栽後 30 年以上の林分の微気象環境については、概ね天然林に近く、地点ごとの回復状況は施業前に近くなる。
- 育成天然林施業（以下、育天）後の林分は、中・下層木を構成する樹木がやや少ないために場所・季節によっては林内に風が通りやすくなり、施業後 10 年程度で上層木による被陰状況は天然林にかなり近づいた状態になり、気温の日変動も小さくなる。
- 皆伐後 10 年経過した林の微気象要素は、他の皆伐プロットよりもむしろ育天施業後 1 年もしくは 5 年経過した林に近く、皆伐－植栽後 10 年程度で森林としての微気象環境

に明瞭に移行する。

彼らの研究報告により当地域の森林施業と微気象環境に関する理解が深まった。しかし、森林施業の人為的インパクトとして最も大きいと考えられる森林伐採が森林の微気象環境に与える影響に関する調査はまだ、十分に行われているとは言えない。

気象環境は、年々変動が大きいために、たとえ同一地点で気象観測を伐採前後に連続して行ったとしても、伐採前後の測定値の変化が、伐採による影響なのか、気象環境の年々変動によるものなのか判別することは難しい。本研究では、森林伐採が林内微気象環境に関する影響を検討するために伐採区と対照区を設定し伐採試験を実施した。

## II. 調査地および方法

## 1. 調査地

沖縄県国頭郡国頭村の西銘岳山頂から東へ約 2 km の林道沿いに 3 か所の伐採試験地を設定した（図－1）。伐採試験地は 1 ha 未満の伐採を行った P1, P2 プロットと 3.5 ha の伐採を行った P3 の 3 地点である。P1, P2 プロットの標高は 250 m で、P3 プロットの標高は 170 m である。これらのプロットには、それぞれ、伐採を行わない対照区を設けた（P1C, P2C, P3C）。これらのプロットのうち今回は、P2 の伐採区および対照区（P2, P2C）に関して報告する。

Arakaki *et al.* (2014) は西銘岳山頂から北へ約 0.5 km の地点に設置した気象観測露場（標高 300 m, 図－1）における 2010－2013 年の気象観測結果をまとめた。それによると、月平均気

<sup>\*1</sup> Kabeya, N., Shimizu, A., Ohnuki, Y., Arakaki, T., Furugen, H., Ikuzawa, H., Shimizu, T.: Change of micro-meteorological environments near the forest floor by a forest harvesting in northern part of Okinawa Island.

<sup>\*2</sup> 森林総合研究所九州支所 Kyushu Res. Ctr., For. & Forest Prod. Res. Inst., Kumamoto 860-0862.

<sup>\*3</sup> 森林総合研究所 For. & Forest Prod. Res. Inst., Ibaraki 305-8687.

<sup>\*4</sup> 沖縄県森林資源研究センター Okinawa Pref. For. Resour. Res. Ctr., Okinawa 905-0017.

<sup>\*5</sup> 一般財団法人 沖縄県環境科学センター Inc. Okinawa Pref. Environment Science Ctr., Okinawa 901-2111.

<sup>\*6</sup> 沖縄県農林水産部 Okinawa Pref. Agriculture, Forestry and Fisheries General Affair Division, Naha 900-8570.

温は、1月に約13℃と最も低く、9月に27℃と最も高かった。月平均相対湿度は、1月もしくは2月に約80%と最も低く、5月に90%と最も高かった。年平均降水量は、2010-2012年の期間においては3,424mmであったが、2013年は2,040.5mmとそれ以前の3年間に比べて1,400mm程度少なかった。

2. 1 ha 未満伐採区

P1, P2プロットは、図-1に示すように道を挟んで隣接している。それぞれの対照区P1C, P2Cは伐採区から尾根を挟んで反対側の斜面に設置した。伐採面積はP1が0.21 ha, P2が0.77 haで、合計0.98 haであった。伐採は2013年11月に実施した。集材方法は重機によるグラブ集材であった。伐採前の伐採区および対照区は、いずれも樹冠が閉鎖した常緑広葉樹であり、下層にはシダおよび低層木が繁茂していた。土壌は粘土質で土層厚は30~50 cm, リター (A<sub>0</sub>) 層は数 cm でごく薄かった。伐採後の植栽樹種はクスギおよびセンダンで、2014年11月~2015年2月にかけて50 cm規格の苗が植栽された。

なお、2012年9月中旬および下旬に台風16号および17号が沖縄本島北部地域を襲来し、多くの倒木などが発生した。このため、伐採前の伐採区のうち、西向き斜面のP1では多くの風倒木や幹折れ木が発生した。東向き斜面に位置するP2では、P1よりも被害は小さかったが、多くの枝や葉が落ちた。一方で、尾根の反対側に位置するP1CおよびP2Cは、ほとんど台風の影響を受けなかった。このため、測定開始時点では、P2の方が、P2Cよりもやや樹冠が透いた状態にあった。

3. 観測方法と測定項目

各プロットでは、林内微気象の測定は清水ら (2011) と同様の

方法を用いた。具体的な測定項目は表-1に示した。

林内微気象環境への伐採インパクトを定量的に把握するための事前キャリブレーションとして、対照区と伐採区の林内環境を伐採前約1年間計測した。その後、伐採区を伐採し、伐採区と対照区の林内環境の各要素の変化を定量的に把握した。

2012年12月より観測を開始し、伐採前のデータを取得した。2013年11月に伐採を実施し、それ以降、伐採後のデータを取得した。伐採前の第2四半期中盤から第4四半期までの期間、P2Cではロガーの故障による欠測が生じた。そのほか、伐採試験の前後には、測器の保安のため取り外す必要があったので一時的な欠測が各測定項目に生じた。

以降に示す時系列変化のグラフでは、各種測定値の季節変化を把握しやすくする目的で1年間の第1(Q1)~第4(Q4)四半期を明示した。

表-1. 林内微気象の観測項目とセンサー型式および設置高度

観測項目	センサー型式	設置高(cm)
地上要素 #1		
風向・風速	Onset 社 S-WCA-M003	140
日射量	Onset 社 S-LIB-M003	140
温度・湿度	Onset 社 S-THB-M002	90
地中要素 #2		
マトリックスポテンシャル	オーリー社 6450WDM	-5, -20
地温	オーリー社 3667M	-5, -20

#1...1分ごとの瞬時値を5分毎に平均してデータロガー (Onset社, H21-002) に記録。

#2...15分ごとの瞬時値をデータロガー (オーリー社, WD1400) に記録。

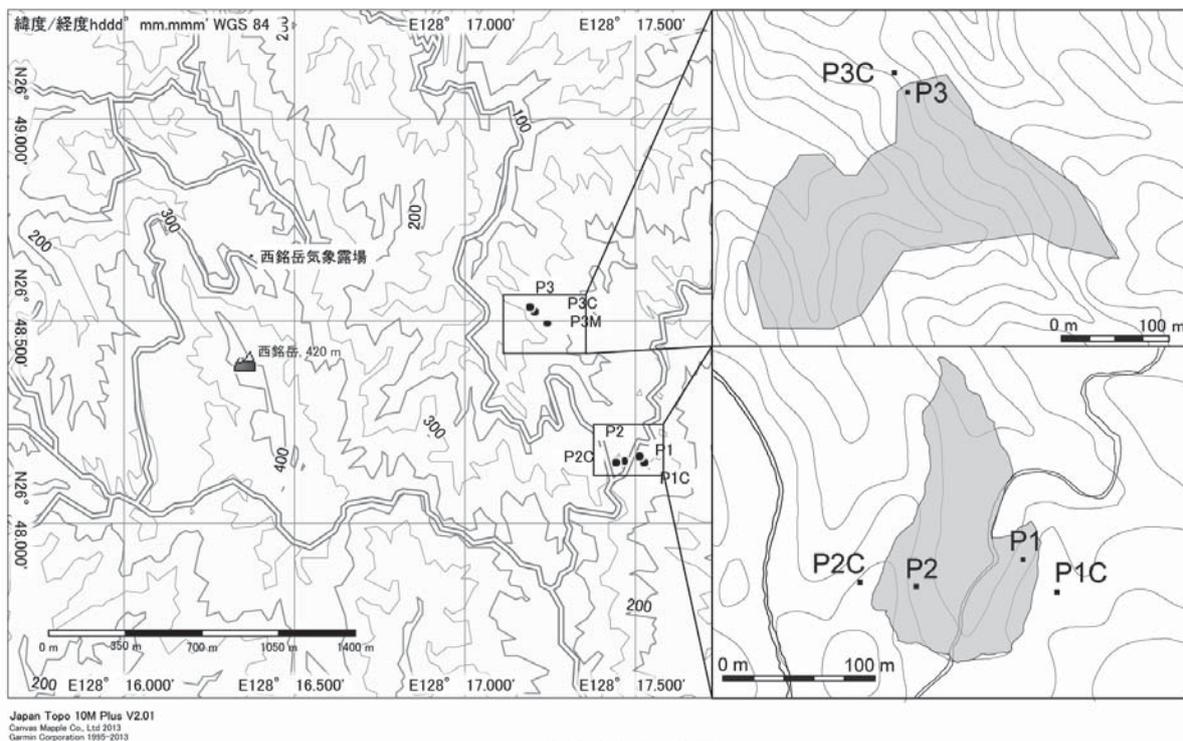


図-1. 伐採試験地の位置図 (灰色の網かけは伐採エリアを示す)

### Ⅲ. 結果

#### 1. 日平均風速の変化

対照区 (P2C) では観測期間を通じて日平均風速 0.2 m/s を超える風がほとんど生じなかった (図-2)。一方、伐採区 (P2) では、伐採前までは P2C と同様に強い風がほとんど吹かない状況であったが、伐採後は、おおむね 2 m/s までの日平均風速を記録し、第 1 四半期をのぞく第 2~第 4 四半期で 4 m/s 以上の日平均風速を観測した。

#### 2. 日積算日射量の変化

対照区 (P2C) の日積算日射量は第 3 四半期に 2.5 MJ/(m<sup>2</sup> day) と高く、第 4 四半期および第 1 四半期に 0.1 MJ/(m<sup>2</sup> day) と低かった (図-3)。伐採区 (P2) では、伐採前のデータのうち、観測開始から P2C にくらべて 0~4 MJ/(m<sup>2</sup> day) 高い値を示した。伐採後の伐採区 (P2) は、対照区 (P2C) よりも常に高い値を示し、第 2~3 四半期に 5~20 MJ/(m<sup>2</sup> day)、第 1 および 4 四半期に 2~10 MJ/(m<sup>2</sup> day) の値を示した。

#### 3. 日平均気温の変化

日平均気温に関して、対照区 (P2C) と伐採区 (P2) は共に、伐採の前後に関わらず、第 1 四半期に 11℃、第 3 四半期に 26℃ の明瞭な季節変化を示した (図-4)。両プロットの値の差は、伐採前はゼロ付近を ±0.5℃ 程度で推移していたが、伐採後は、伐採区 (P2) の方が対照区 (P2C) よりも 0.3~0.5℃ 程度高い値をとるようになった。

#### 4. 日平均相対湿度の変化

対照区 (P2C) の日平均相対湿度は、伐採前の 2013 年にくらべて伐採後の 2014 年の方がやや低めの値を示した (図-5)。このような年々の季節変化傾向の違いは伐採区 (P2) でも観測された。両プロットの値の差は、伐採前はゼロ付近を ±10% 程度の値で推移していたが、伐採後は、伐採区 (P2) の方が対照区 (P2C) よりも 3~10% 程度低い値をとるようになった。

#### 5. 土壌マトリックポテンシャルの変化

図-6 に伐採前後の P2C と P2 の土壌マトリックポテンシャル (kPa) の変化を示した。この図の上段は、対照区 (P2C) の深さ 5 cm と 20 cm の値を、下段は伐採区 (P2) の深さ 5 cm と 20 cm の値を示した。土壌マトリックポテンシャル (kPa) とは、土壌水分張力とも言われ土壌孔隙が水を引き付ける負圧を示しており、この値が大きいほど土壌が乾燥していることを意味する。

対照区 (P2C) は、伐採前年の第 3 四半期に深さ 5 cm と深さ 20 cm でそれぞれ 140 kPa、90 kPa 高い値を示した。それ以外の期間では、山形の波形が伐採前と伐採後の両方の期間で見られた。ただし、伐採後第 1 および第 2 四半期の対照区 (P2C) の値は、伐採前の同時期の値に比べて 10 kPa 程度高い値を示した。

伐採区 (P2) でも、対照区 (P2C) と同様に伐採前年の第 3 四半期に深さ 5 cm および 20 cm で 110 kPa の高い値を示した。伐採前の伐採区 (P2) では、山形の波形が観測された。しかし、伐採後の第 1 四半期後半までは山形の波形は見られなかった。同じ時期の対照区 (P2C) では、山形の波形がみられた。

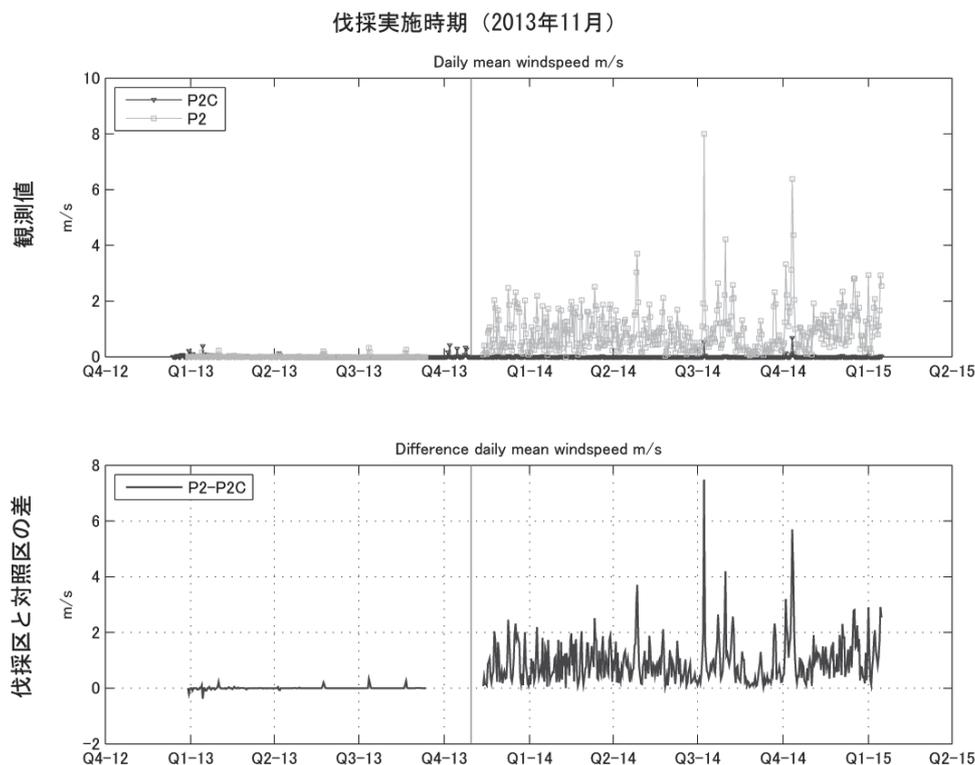


図-2. 伐採前後の伐採区 (P2) と対照区 (P2C) の日平均風速の変化と差異

伐採実施時期 (2013年11月)

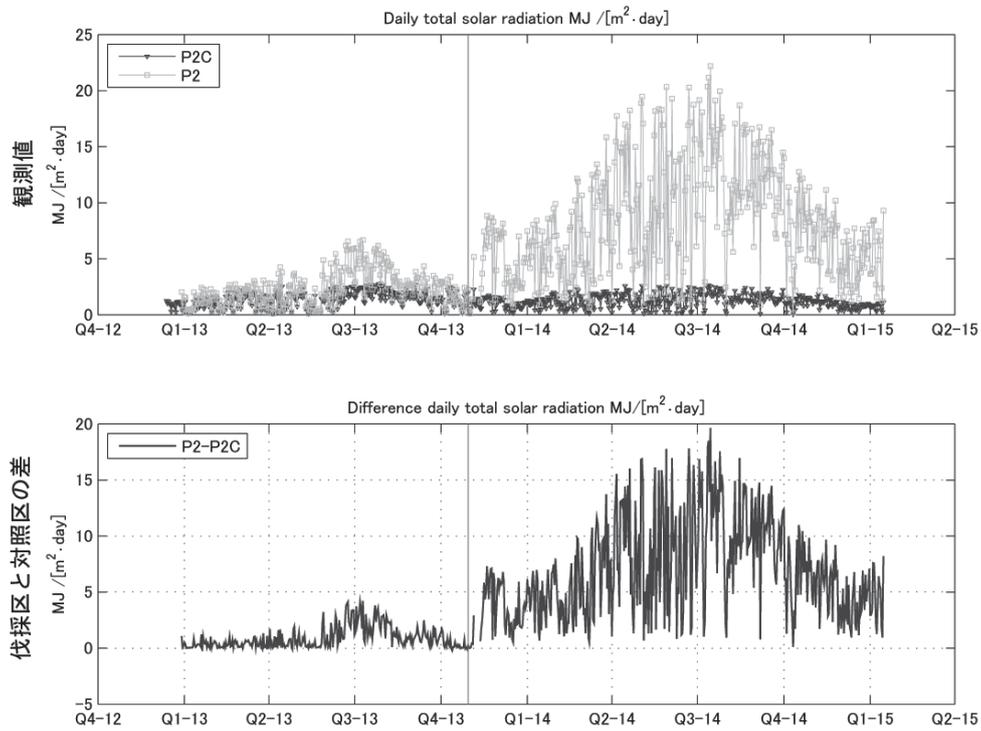


図-3. 伐採前後の伐採区 (P2) と対照区 (P2C) の日積算日射量の変化と差異

伐採実施時期 (2013年11月)

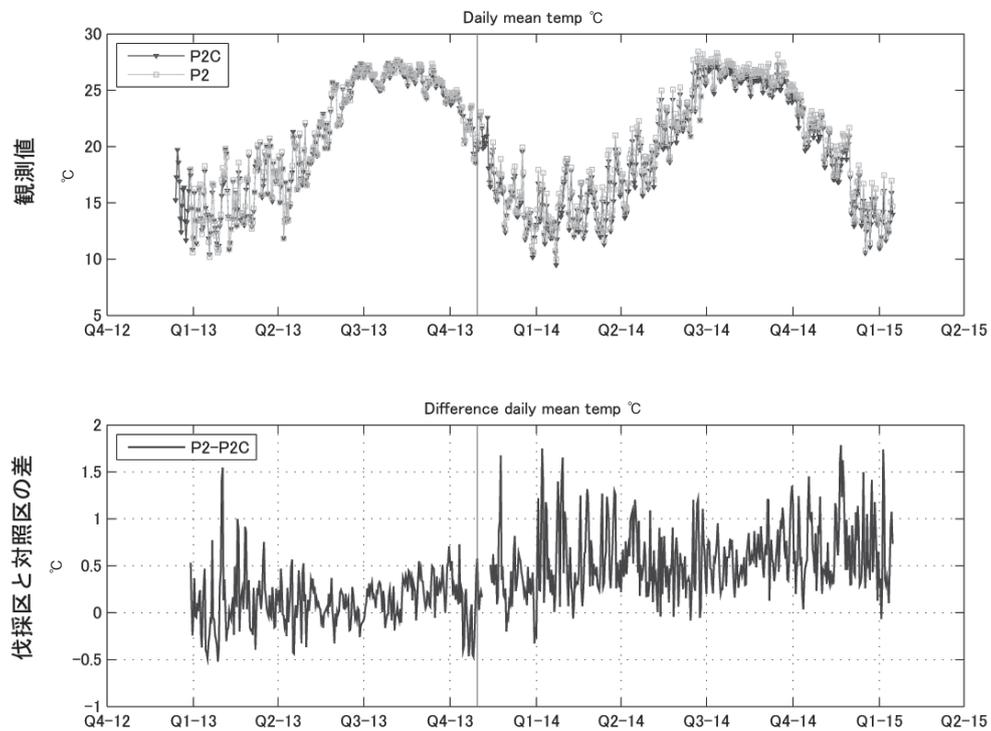


図-4. 伐採前後の伐採区 (P2) と対照区 (P2C) の日平均気温の変化と差異

## 伐採実施時期（2013年11月）

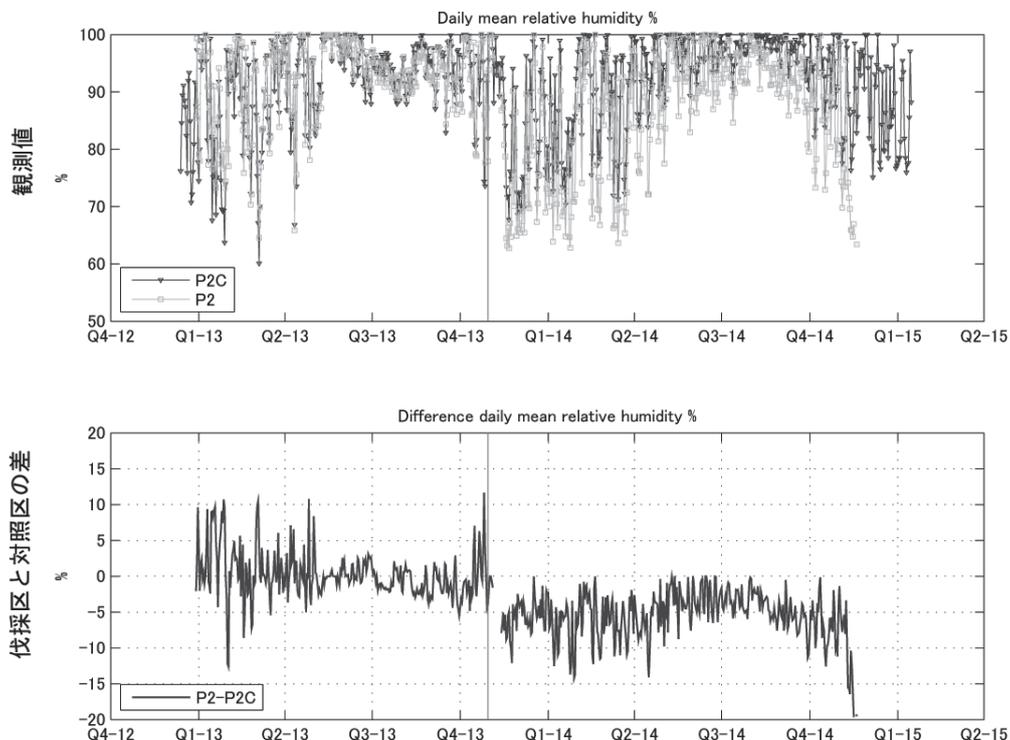


図-5. 伐採前後の伐採区 (P2) と対照区 (P2C) の日平均相対湿度の変化と差異

## IV. 考察

## 1. 微気象要素の年々変動について

伐採区 (P2) の日積算日射量は、伐採前のデータのうち、観測開始から対照区 (P2C) より  $0\sim 4 \text{ MJ}/(\text{m}^2 \text{ day})$  高い値を示した。これは、2012年9月中旬および下旬の台風16号および17号の影響でP2の樹冠がP2Cよりもやや透いていたことが影響したものと考えられる。ただし、伐採後の伐採区 (P2) は、対照区 (P2C) よりも明らかに高い値をとるようになったことから、伐採前の樹冠状況の差異は、今回の試験結果に影響を与えないと考えられる。

日平均相対湿度の変化に関して、伐採区と対照区の両方で、伐採後の第1四半期に低い傾向がみられた (図-5)。この変動が発生した要因は不明であるが、伐採区と対照区の両方で同様の変動が観測された。このことから伐採試験地周辺の森林の水分条件と連動して日平均相対湿度が年々変動を示したと考えられる。

伐採直前に当たる伐採前の第3四半期に伐採区と対照区の両方で土壌マトリックポテンシャルは  $90\sim 140 \text{ kPa}$  の値を示した。この時期、西銘岳の気象露場では、月降水量  $100 \text{ mm}$  以下が3ヶ月連続した (Arakaki *et al.* 2014)。同様の傾向は、観測地点に最も近いアメダスサイト・奥地点でも観測されていることから、この時期の沖縄北部の森林の土壌は全域で強い乾燥傾向にあったものと推察される。このような少雨期間が、気温が高く植生の蒸散発活動が活発なこの時期に発生することは珍しく現場周辺の林内では、乾燥による地面のひび割れなどの発生しているのを目視で確認した。これらのことから、この時期の降雨量が少なかったため

に、土壌が一時的に乾燥したと考えられる。

以上のように、各気象値にはそれぞれの年ごとの季節変化の傾向が表れている。このため、もし同一地点で微気象観測を伐採前後に行ったとしても、その変化が、伐採によるものなのか、微気象要素の年々変動によるものなのかを判別することは難しいと言える。

しかし、本研究では、伐採区 (P2) と対照区 (P2C) の値の差を、伐採前から取得しているため、このような各微気象値の年々変動の傾向を除いた伐採影響を検討可能である。

## 2. 森林伐採が微気象環境に与える影響

伐採前後の伐採区 (P2) と対照区 (P2C) の日平均相対湿度の変化に関して、伐採後に値が明瞭に変化した測定項目には、風速、日射量があった (図-2, 3)。これらの項目は伐採により樹木の被覆がなくなったこと (物理的な植生の除去による効果) により測定点に直接、風や日差しが当るようになったためと言える。

一方、伐採後の値にある程度の変化が認められた項目には、気温と湿度がある。気温は、伐採後に、 $0.3\sim 0.5 \text{ }^\circ\text{C}$  程度増加した (図-4)。また、相対湿度は、伐採後、 $3\sim 10 \%$  程度減少した (図-5)。これらの項目は観測地点の環境状況のみならず観測地点へ流入する周囲の大気の影響を強く受けていると考えられた。

土壌水分は、P2において、伐採前に認められた晴天時の乾燥傾向が、伐採後の半年程度、見られなくなった (図-6)。これは、樹木の吸水活動がなくなったことによると考えられる。しかし、全体的に見て、伐採前後で、伐採区が対照区に対して極端に乾燥したり、湿ったりすることはなかった。

伐採実施 (2013年11月)

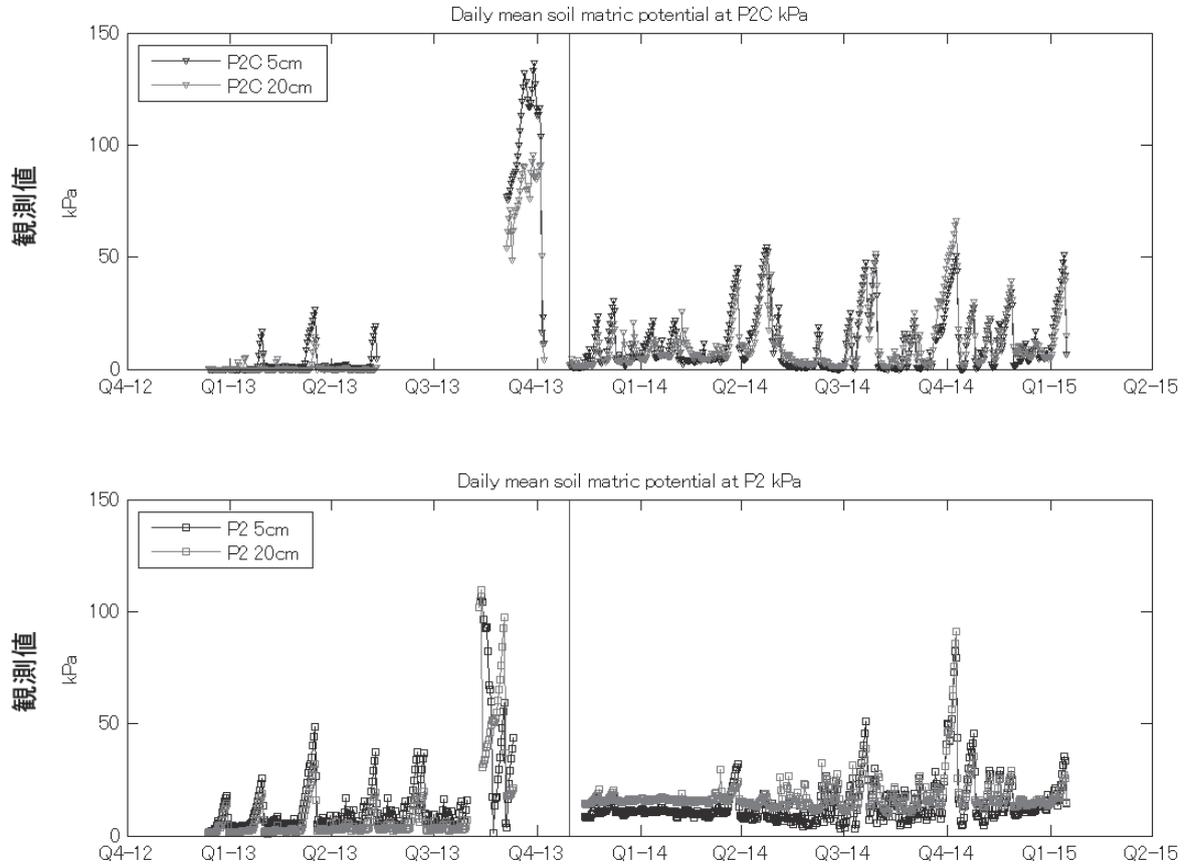


図-6. 伐採前後の伐採区 (P2) と対照区 (P2C) の深さ 5 cm および 20 cm の土壌マトリックポテンシャルの変化

V. 結論

沖縄本島北部において森林伐採が林内微気象環境へ与える影響を把握するために、伐採区と対照区を設けて伐採試験を実施した。その結果、伐採後に伐採跡地 (伐採区) では風速と日射量が明瞭に増加することが明らかになった。これらの項目は伐採により樹木の被覆がなくなったことにより測定点に直接、風や日差しが当るようになったため明瞭に変化したと考えられた。一方、気温や湿度などは伐採跡地 (伐採区) の環境状況のみならず観測地点へ流入する周囲の大気の影響を受けるために、伐採跡地 (伐採区) と周辺林内 (対照区) の微気象環境の差異は比較的小さいことが明らかになった。

本研究により、1 ha 未満の伐採地における伐採直後の環境インパクトを定量的に把握することができた。今後は、残る2つのプロット (P1, P3) の結果を取りまとめ3.5 ha までの面積の森林伐採が林内微気象に与える環境インパクトを明らかにする予定である。また、今後も観測を継続し、植生回復に伴う物理環境インパクトの回復を把握する必要がある。

謝辞

現地観測、測器の設置に関して沖縄県企画部森林資源研究センターの皆様にご多大なご協力を頂いた。本研究は、「南西諸島の環境保全及び生物相に配慮した森林管理手法に関する研究事業」の一環として行った。

引用文献

Arakaki *et al.* (2014) Journal of Water Resource and Protection 6: 813-820.  
 萩野裕章ほか (2014) 九州森林研究 67: 68-71.  
 清水貴範ほか (2011) 九州森林研究 64: 108-109.  
 (2015年10月23日受付; 2015年12月24日受理)