

森林構造が示す斜面崩壊の歴史 —東広島市キャンパス・ががら山の事例

横田 和男¹⁾・山田 俊弘²⁾・奥田 敏統²⁾

¹⁾ 広島大学総合科学部

²⁾ 広島大学大学院総合科学研究科

Landslide History Detected Based on Forest Structure: A Case Study on Mt. Gagara, Higashi-Hiroshima

Kazuo YOKOTA¹⁾, Toshihiro YAMADA²⁾ and Toshinori OKUDA²⁾

¹⁾ School of Integrated Arts and Sciences, Hiroshima University

²⁾ Graduate School of Integrated Arts and Sciences, Hiroshima University

Abstract

Variations in tree species composition, tree density, and basal area were studied in relation to microtopography along the hills of Mt. Gagara within the campus of Hiroshima University, Higashi-Hiroshima, where landslides have occurred frequently. Ten sampling plots with a size of 100 m² (10 m×10 m) were positioned in upper and lower parts of the hills. Tree density was significantly higher in the lower parts than in the upper parts of the hills ($p < 0.001$). The density of trees with smaller diameters at breast height (DBH; < 13 cm) was significantly higher in the lower parts than in the upper parts of the hills ($p < 0.001$), whereas the density of large- or middle-sized trees (DBH ≥ 13 cm) was significantly higher in the upper parts of the hills. The species composition in the lower hills mostly consisted of early successional tree species (e.g., *Eurya japonica*, *Pieris japonica*, *Ilex pedunculosa*, and *Rhododendron reticulatum*), whereas the upper parts of the hills rarely or never included such species but mainly consisted of late successional tree species (e.g., *Symplocos lucida*, and *Quercus glauca*). These trends indicate that forest vegetation on the lower parts of the hills has been disturbed by frequently occurring erosion and landslides, which have resulted in suppressed maturity of forest structure and species succession.

1. はじめに

広島県の地形は、日本の代表的な隆起準平原の地形であり、浸食を受けて一定地域の山頂が定高性をもつという特徴がある。山の斜面の傾斜は、山頂部付近では緩やかで、遷急線より下の山腹

斜面で急勾配となり、遷緩線¹より下の斜面で緩勾配に変わる。基盤岩は黒雲母花崗岩で、それが風化したマサ土により表層が広く覆われている(Thi Ha, 2005)。マサ土は水に弱い土質で、梅雨や台風による集中豪雨に伴い、山腹斜面でがけ崩れや土石流が発生し、しばしば甚大な被害をもた

らしている (Thi Ha, 2005).

ががら山は、広島大学東広島キャンパスの東側に位置し、山頂三角点は標高330.8 m、麓の広島大学教職員宿舎付近は標高230 m程度、標高差約100 mの山である。山腹斜面の勾配は、山頂部付近で25°、遷急線から下方では35～40°、さらに下方の遷緩線からは10～18°程度であり、谷筋は山頂から放射状に発達している。また、土質は黒雲母花崗岩が風化したマサ土である (Thi Ha, 2005)。

ががら山に関する近年の記録では、1999年6月に梅雨前線による豪雨、同9月に台風16号の豪雨により斜面崩壊が発生している。6月の崩壊はががら山の北側斜面、標高300 m付近を源頭として、北西方向に向かう小さな溪流の源流部付近で発生し、堆積域である山中池沿い道路付近まで、源頭部からの水平距離は約300 mであった (Thi Ha, 2005)。この崩壊は、地形図を見ると、遷急線あたりから崩壊したことが確認できる。

また、平成30年7月にも降雨による崩壊が発生しており、そのほかにも記録されない山腹斜面での小規模な崩壊と谷筋下部への堆積が時々起きていることが推察される。

ががら山のような地域のかつての植生は自然植生ではなく、人が自然の植生を破壊し、あるいは利用した、すなわち人為的攪乱の影響を受けて成立した代償植生であった (武田, 1983)。ところがその後燃料が薪や炭から石炭・石油・ガスに代わり、肥料が落ち葉や下草といった刈敷や堆肥から化学肥料に代わることで、人為的攪乱がなくなった (武田, 1983)。つまり、森林が放置され、人為的攪乱の影響がないまま遷移が進んだ状態が今の植生である。

一方この地域は前述したように、地形と土壌の関係から下部斜面域は斜面崩壊が起りやすいところであり、人為的攪乱はなくとも地表変動による攪乱が植生に影響を及ぼしていると考えられる。例えば、斜面崩壊が表層の土壌を流出させ、流出した土壌が斜面下部に堆積し裸地化すれば、その斜面崩壊地の植生は退行遷移を起し、二次遷移を初期段階から再開することになる。

本研究の目的は、安定した植生と考えられる上部斜面域のうち尾根と、地表変動による攪乱が起

こっていると考えられる下部斜面域のうち谷筋下部 (以下、谷という) とにおける森林構造の違いについて明らかにすることである。

2. 調査地

ががら山は、北緯34度24分、東経132度43分に位置し、標高330.8 m、麓との標高差約100 mである。ががら山のある広島県東広島市は年平均気温14.5°C、年降水量1960.0 mm、最暖月平均気温26.2°C (8月)、最寒月平均気温2.7°C (1月) である (気象庁, 2016)。暖かさの指数 (WI) (吉良, 1949) は118、寒さの指数 (CI) (吉良, 1949) は-3.7 (2016年気象庁データから算出) であり、気候帯としては温帯の暖温帯に属し、降水量も十分であることから、シイ (*Castanopsis* sp.), カシ (*Quercus* sp.) などの照葉樹林が気候的極相林であると考えられている (大野, 2005; 福島, 2005)。

植生としては、クロキ (*Symplocos lucida*) やアラカシ (*Quercus glauca*), ヒサカキ (*Eurya japonica*), アセビ (*Pieris japonica*), ソヨゴ (*Ilex pedunculosa*) などの常緑広葉樹に、タカノツメ (*Evodiopanax innovans*) やアオハダ (*Ilex macropoda*), ネジキ (*Lyonia ovalifolia* var. *elliptica*), コバノミツバツツジ (*Rhododendron reticulatum*) などの落葉広葉樹が混生する。

西条盆地の地質は、主として広島花崗岩類と第四系西条層を基盤としており、前述したように、ががら山の基盤岩は広島花崗岩類に属する黒雲母花崗岩であって、粒径が中粒であるため花崗岩類の中では風化に強く、そのため急斜面を形成している (高木ほか, 1999; Thi Ha, 2005)。ががら山の尾根では花崗岩が露出しているところを見ることができる。

前述したとおり、ががら山では斜面崩壊が散発していると考えられることから、ががら山を調査地とした。

3. 方法

本論では「森林構造」を以下のように定義し、それぞれの項目における尾根と谷との違いについ

て検討した。

① 個体サイズ

攪乱がなく遷移の進んだところでは、種間競争や種内競争の結果、個体密度が低下し、大きな個体が増加する。したがって尾根で大きな個体が多い。

② 個体密度

上記のとおり、谷で個体密度が高い。

③ 種組成（群落ベクトル）

退行遷移のため、攪乱のある場所では遷移系列段階が早い。したがって谷は遷移初期種を主とした植生である。なお、「先駆性樹種」と「その他の樹種」の区別については表3に示した。

④ 現存量（バイオマス）

今回の調査では、胸高断面積合計をもってバイオマスを現す指標とした。一般的に遷移が進むとバイオマスは大きくなるとされている。したがって尾根の方がバイオマスは大きい。

⑤ 種多様性

例えば中規模攪乱説では中規模攪乱が多様性を高めるとされている。規模にもよるが、攪乱のある谷の方で多様性が高い。

3.1. 調査区

ががら山の尾根と谷、それぞれ5カ所、計10カ所に方形（10 m×10 m、プロット001 - 010）の調査区を設置した。これらに001 - 010の連番をつけ、001 - 005は尾根、006 - 010は谷に設置した。なお、プロット009は1999年6月斜面崩壊の際の堆積域に位置する（図1）。

3.2. 毎木調査

各プロットにおいて、胸高直径（DBH）1 cm以上のすべての樹木について個体識別ナンバーを付け、樹種名を同定し、胸高直径を測定した。胸高直径の計測には直径巻尺を使用し、細い個体（概ねDBH < 2 cm）に対してはノギス（ダイヤルノギスDVC-20）を用いた。

3.3. 解析

調査区全体及びプロット別に、胸高直径階層別分布（直径階分布）、個体密度、種組成（群落ベクトル）、胸高断面積合計（バイオマス）、多様性指数を算出した。

直径階分布については、胸高直径1 cm以上の個体について2 cm刻みで区分して個体数を数え、分布を調べた。分布結果について、尾根と谷との調査区での有意差の有無を確認するために、コルモゴロフ・スミルノフの二標本検定法を用いた。

尾根・谷間の個体密度の相違については尾根・谷別の密度を差に対する χ^2 検定により、また尾根・谷別の大中径木と小径木別個体数

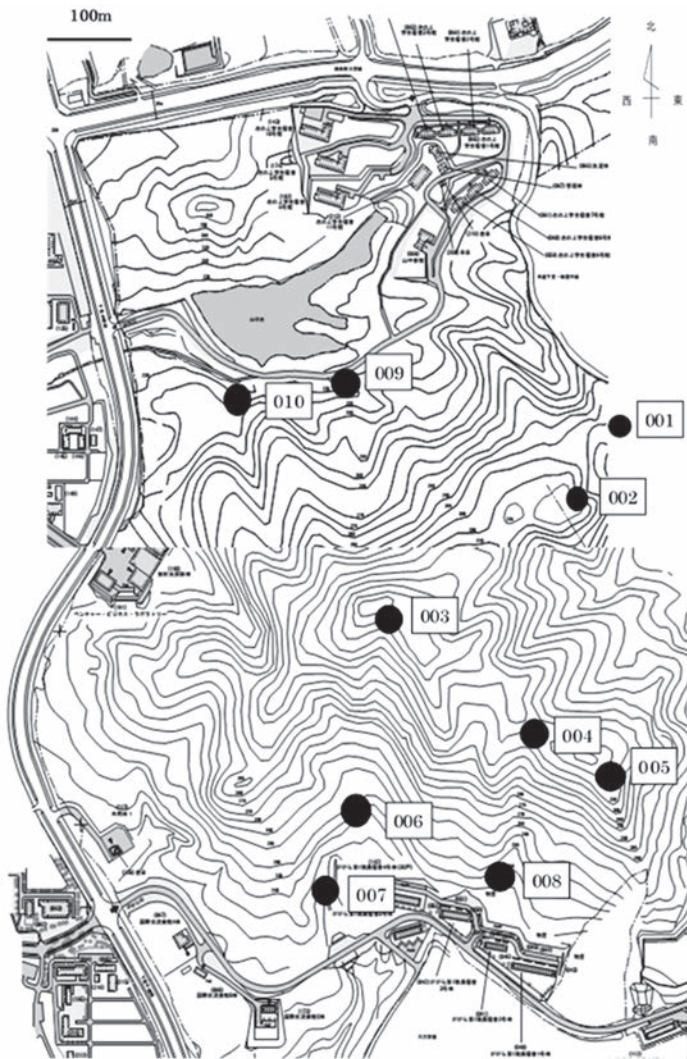


図1 調査地。丸印が各調査区位置（001-005が尾根、006-010が谷）。広島大学財務・総務室施設部資料（2006）を改編。

を関連に対する χ^2 検定により、それぞれ有意差を確認した。

尾根・谷間の種組成の相違については、すべての個体を先駆性樹種とその他の樹種に区分し、尾根・谷別に先駆性樹種とその他の樹種の個体数合計の値と胸高断面積合計の値をそれぞれ用いて関連に関する χ^2 検定を行った。

尾根・谷間の胸高断面積合計、種多様性については2標本 t 検定を行った。胸高断面積合計に関しては、調査区毎に全個体の胸高断面積を合計し、それを尾根・谷に分けた値を使用した。

多様性指数に関しては、単位面積(100 m²)あたりの種数を α 多様性(今回は、調査区毎の出現種数)として使用した。 α 多様性は種の豊富さを表す(安田ほか, 2004)。

また、シャノン・ウィナーの多様度指数(H') (Shannon, 1949)を算出した。シャノン・ウィナーの多様度指数は、種数と相対優占度(すなわち種の豊富さと均等度)の両方の影響を受ける指数であり、次のとおり計算される(伊藤ほか, 1977; 安田ほか, 2004)。

$$H' = -\sum_{i=1}^s pi \ln pi$$

s はそのプロットの種数、 pi は i 番目の種の相対優占度。

4. 結果

4.1. 胸高直径階層別(直径階)分布

調査区全体では、総個体数は817個体で、1 cm \leq DBH < 3 cmの個体が447個体と最も多く、サイズが大きくなるほど個体数が減少していた(表1)。

尾根、谷別に直径階分布を見ると、谷のプロットすべてにおいて、サイズが小さい個体が最も多く、サイズが大きくなるほど個体数が減少しており、グラフではL字型をとることがわかった。ところが尾根のプロットでは一つのプロットを除いて、明確なL字型の直径階分布をとらず、最小クラスの個体数に比べて中ないしは大きなサイズの個体が比較的多い傾向が見られた(図2)。

尾根と谷の調査区をそれぞれ合計した直径階分布を二つの標本として、コルモゴロフ・スミルノフの二標本検定法により検定すると、最大絶対差 D は0.306となった。棄却値は $D_{.01} = 0.1293132$ (有意差1%確率)であり、尾根と谷との直径階分布には有意差があった($p < 0.01$)。

4.2. 密度

個体密度については、尾根平均が43.0本/100 m²、谷平均が120.4本/100 m²と大きな差がある(表2)。各プロットにおける最大胸高直径の個体のうち最も小さい個体が13 \leq DBH < 15のクラスに属する

表1 調査区(001-010)毎の直径階別個体数。

| DBH | 調査区 | | | | | | | | | | | クラス別 個体数計 | 比率(%) | |
|--------------------|-----|-----|-----|-----|------------|---------|-----|-----|-----|-----|-------|--------------|-------|-------|
| | 001 | 002 | 003 | 004 | 005 (尾根小計) | 006 | 007 | 008 | 009 | 010 | (谷小計) | | | |
| 1 \leq , <3 | 3 | 13 | 11 | 42 | 9 | 78 | 99 | 29 | 52 | 70 | 119 | 369 | 447 | 54.7 |
| 3 \leq , <5 | 2 | 2 | 0 | 17 | 1 | 22 | 25 | 7 | 28 | 13 | 14 | 87 | 109 | 13.3 |
| 5 \leq , <7 | 6 | 4 | 0 | 7 | 4 | 21 | 22 | 6 | 27 | 3 | 9 | 67 | 88 | 10.8 |
| 7 \leq , <9 | 3 | 2 | 2 | 0 | 5 | 12 | 13 | 0 | 13 | 0 | 3 | 29 | 41 | 5.0 |
| 9 \leq , <11 | 6 | 3 | 4 | 2 | 1 | 16 | 2 | 2 | 2 | 0 | 4 | 10 | 26 | 3.2 |
| 11 \leq , <13 | 3 | 6 | 2 | 0 | 2 | 13 | 4 | 3 | 4 | 1 | 3 | 15 | 28 | 3.4 |
| 小計(1 \leq , <13) | | | | | | (162) | | | | | | (577) | 739 | 90.5 |
| | | | | | | (75.3%) | | | | | | (95.8%) | | |
| 13 \leq , <15 | 4 | 3 | 4 | 2 | 1 | 14 | 4 | 2 | 4 | 1 | 2 | 13 | 27 | 3.3 |
| 15 \leq , <17 | 1 | 3 | 1 | 0 | 5 | 10 | 3 | 1 | 1 | 0 | 0 | 5 | 15 | 1.8 |
| 17 \leq , <19 | 1 | 1 | 4 | 1 | 3 | 10 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 2 | 12 | 1.5 |
| 19 \leq , <21 | 1 | 0 | 1 | 0 | 3 | 5 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 2 | 7 | 0.9 |
| 21 \leq , <23 | 2 | 0 | 1 | 1 | 2 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 7 | 0.9 |
| 23 \leq | 0 | 0 | 1 | 4 | 3 | 8 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 2 | 10 | 1.2 |
| 小計(13 \leq) | | | | | | (53) | | | | | | (25) | 78 | 9.5 |
| | | | | | | (24.7%) | | | | | | (4.2%) | | |
| 計 | 32 | 37 | 31 | 76 | 39 | 215 | 174 | 51 | 132 | 88 | 157 | 602 | 817 | 100.0 |

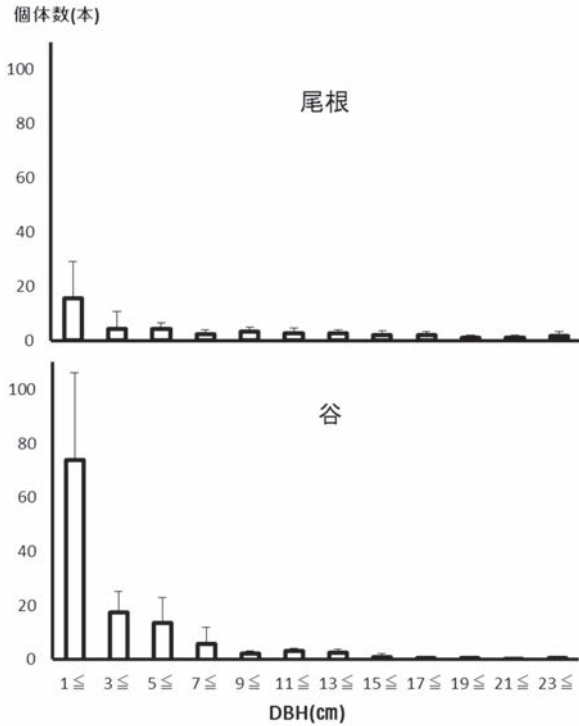


図2 尾根・谷別直径階分布. 尾根・谷別に各調査区の直径階分布を集計し, 単純平均した. 棒グラフの縦線はSD (標準偏差).

ことから, 一応個体サイズDBH13 cm以上を大中径木, 13 cm未満を小径木とすると, 尾根では小径木が162本, 大中径木が53本に対し, 谷では小径木が577本, 大中径木が25本となった. 尾根では大中径木の割合が24.7%, 小径木が75.3%であるのに対し, 谷では大中径木の割合が4.2%, 小径木が95.8%であった(表1). (尾根・谷別密度差, 尾根・谷別大中径木・小径木個体数差とも, χ^2 検定 $p < 0.001$)

4.3. 種組成 (群落ベクトル)

出現種数は30種, 個体数の多い順からヒサカキ (*Eurya japonica*), クロキ (*Symplocos lucida*), アセビ (*Pieris japonica*), アラカシ (*Quercus glauca*), ソヨゴ (*Ilex pedunculosa*), コバノミツバツツジ (*Rhododendron reticulatum*), タカノツメ (*Evodiopanax innovans*), ネジキ (*Lyonia ovalifolia* var. *elliptica*)となり, ヒサカキ (*E.japonica*)が全体の31.8%, クロキ (*S.lucida*)が18.7%を占めた.

全体を通して見ると, 尾根ではクロキ (*S.lucida*), アラカシ (*Q.glauca*)が, 谷ではアセビ (*P.japonica*), ソヨゴ (*I.pedunculosa*), コバノミツバツツジ

表2 尾根・谷別直径階別密度

| DBH | 個体数密度(/100m ²) | | |
|-------|----------------------------|-------|------|
| | 尾根平均 | 谷平均 | 全体 |
| <13cm | 32.4 | 115.4 | 73.9 |
| ≥13cm | 10.6 | 5.0 | 7.8 |
| 計 | 43.0 | 120.4 | 81.7 |

(*R.reticulatum*), ネジキ (*L.ovalifolia* var. *elliptica*)が優占している. ヒサカキ (*E.japonica*)は調査地内では普遍的に分布するが, 特に北側の谷で個体数が多かった.

樹種別胸高断面積ベースで見た場合にも, 概ね優占する樹種は同じであった.

4.4. 胸高断面積 (バイオマス)

尾根と谷の各プロットの胸高断面積を平均で比較すると, 尾根39.9 m³/ha, 谷27.9 m³/haと尾根の方が高い値となる. *t*検定の結果では, 有意差はなかった ($p > 0.05$).

4.5. 種多様性

種の豊富さの指数としてのプロットごとの α 多様性 (出現種数) は, 低いプロットで5 (プロット001), 高いところでは16 (プロット010)であり, 尾根と谷との平均を比較すると, 尾根で9.2, 谷で12.8となり谷で高かった. *t*検定の結果では, 有意差はなかった ($p > 0.05$).

シャノン・ウィナーの多様度指数 H' においても概ね出現種数による α 多様性と同じような傾向で, 尾根よりも谷で高いが, プロット010のみは α 多様性が高かったにもかかわらず H' は低下した. *t*検定の結果では, 尾根と谷とで有意差はなかった ($p > 0.05$).

5. 考察

5.1. 胸高直径階層別分布

ががら山において尾根は比較的安定した地形で地表変動は起こりにくく, 谷においては斜面崩壊による地表変動が頻発しており, この違いが森林構造に反映しているという仮説をもとに, 今回の調査研究を行った.

直径階分布は, 谷のプロットにおいては尾根のプロットに比べ, 小さい個体の絶対数が多く, ま

た比率も高く、L字型の分布をした(図2)。一般的に谷は尾根よりも土壌湿度が高く、また斜面上部から溶脱してきた養分も多いため植物の成長には適している(斎藤, 1977)。陽樹、陰樹といった違いや、樹種の性質により成長速度は異なるとしても、攪乱がなければ尾根、谷どちらも時間の経過とともに個体・種間競争の結果、大径木の個体が増加してくる。

松本ほか(1995)は、鹿児島県の表層崩壊の周期が短い風化花崗岩斜面を対象にした植生の自然回復の調査研究において、崩壊後6年から60年経過した調査地のいずれにおいてもL字型の直径階別個体分布になっていることを報告している。また、石塚(1977)は、Johnsonほか(1976)の研究を引用し、ミシシッピー川の新しく堆積した河辺林における個体群組成では、先駆種群が侵入直後の林では逆J字型(L字型:筆者注)分布を示し、その後総個体数が減少して釣鐘型分布となり、そのモードが直径の大きい方に移動すると報告している。これらの報告からは、攪乱後の裸地における遷移の初期段階では先駆種の直径階別個体分布がL字型を表すことを示していると考えられる。

5.2. 密度

個体密度は、尾根よりも谷で高い値を示した。また、大きな個体は絶対数で尾根が多く、比率でも尾根が高く、谷とは大きな差がある。このことは、植生遷移が進むにつれて、樹木個体間の種間競争、種内競争が進展し、個体密度の低下とともに大きな個体が増加する過程を表していると考えられる。寺本ほか(2005)は、鹿児島県串間川において斜面崩壊後9年から87年の期間を経た11カ所の調査区における個体群分布を調査し、個体密度は攪乱後10年程度を経過すると大きく増加して、20～30年で最大となり、その後経年的に減少する傾向にあり、攪乱後60年を過ぎると一定値に近づくことを報告している。また、Nakaほか(1984)も、奈良県の春日山保護林でのギャップ更新機構についての研究で樹木密度のピークは攪乱後(ギャップ形成後)16年で、その後減少していくことを報告している。

個体サイズと個体密度とが反比例の関係、すなわち密度が高いと個体サイズが小さく、マイナスの

密度効果により個体密度が低下すると個体サイズが大きくなることは、植物の種内競争としてよく知られたことである(岩城, 1979; 西村ほか, 2011; 松本, 1993)、また主として個体サイズの大小(特に高さの違い)を反映した光合成能力の違いによる種間競争の影響もこの結果に表れていると考えられる(岩城, 1979; 小池, 1993; 松本, 1993)。

直径階分布、個体密度の調査結果は、時間の経過に伴う樹木の個体間競争の様子を表しており、谷よりも尾根の方が遷移段階において進んでいると判断できる。谷では近年(数十年以内に)斜面崩壊による攪乱が発生し(記録に残るものではプロット009で1999年6月)、尾根では近年の斜面崩壊による攪乱はないと推察される。

5.3. 種組成

遷移は、環境と植生の相互関係による植生の移り変わりであり、ある一定の終局群落(極相)にむかって進んで行く(宮脇, 1977)。しかし、人為的攪乱や自然攪乱は遷移の進行を止め、逆に終局群落から離れた方向に向かう退行遷移という現象を起こす。ががら山の谷で斜面崩壊がしばしば発生しているのであれば、他の要因による影響があるとしても、植生の遷移系列段階は総じて尾根よりも早い段階にあると考えられる(沼田, 1977; 山中, 1979)。

一般的に、木本期の植生の遷移は、先駆種から陽樹そして陰樹へと移るように説明され、その過程において植物群落の環境形成作用により土壌の有機物量が増えるという変化が見られる(大賀, 1977)。すなわち、植物は土壌の湿度や栄養分、受光量などの環境の違いにより出現する樹種が異なり、また逆に植物群落の環境形成作用に基づき環境が変化していくと出現樹種も変化していく。この相互作用により遷移が進み、それぞれの遷移段階において出現する樹種が異なってくることになる。

例えば、南ほか(2005)はアカマツ林で見られる樹種について先駆性であるかどうかなどにより別表(表3)のとおり類別している。

また、鈴木(1993)は、先駆種と極相種の一般的性質について、先駆種は陽樹であり、成長が早く、寿命が短い、一方極相種は陰樹であり、成長が遅く、寿命が長いと説明している。

これらの表区分による樹種の類別と、一般的に遷移は陽樹から陰樹へ進むとされていることを参考に、今回の調査区における出現種を先駆性樹種とその他の樹種とに区分した（表4）。

先駆性樹種とその他の樹種の割合を、尾根合計と谷合計とに分けて比較した。個体数と胸高断面積合計を元にしたそれぞれの結果は、個体数、胸高断面積合計のいずれにおいても谷では先駆性樹種が多く、尾根ではその他の樹種が多いという結果であった（表4、図3）。 χ^2 検定の結果では、個体数でも胸高断面積合計においても、尾根と谷とで有意差があった（個体数 $p < 0.001$ 、胸高断面積合計 $p < 0.001$ ）。

一般的に植生遷移の初期段階において、陽樹が多く（＝先駆種の優占）、遷移段階が進むにつれてそれ以外の樹種が増えてくるとされている（陰樹が増えてくる）（石井, 2011; 大賀, 1977; 沼田, 1977）。したがって今回の調査結果は、前述したように、全体として谷より尾根において遷移が進んでいるということを示している。

5.4. 胸高断面積合計

森林の現存量（バイオマス）は、大まかには遷移が進むにつれて大きくなり、十分に成熟した極相林では現存量は一定になり老木が倒れた分だけ若木が成長するようになる（野本, 1977）。利用できるエネルギーで最大の生体量が維持できるような安定な生態系の成立に向かって遷移は進むからである（坂本, 1976）。

胸高断面積合計はプロット間での変動はあるが、尾根と谷との比較では、平均で尾根が39.9 m³/ha、谷が27.9 m³/haと尾根のほうが大きかった。検定結果では標本数が少ないこともあり有意差はなかったが、傾向としては尾根の方が谷より遷移が進んでいることが確認できた。瀬戸内海国立公

園、国の天然記念物、および世界文化遺産区域に指定されている広島県宮島は、古くから神域として保護されてきたこともあって状態の良い森林が残っているとされており、山田ほか（2014）による島内二カ所の調査区（各0.6 ha）における胸高周囲長（GBH）15.0 cm以上の樹木を対象とした毎木調査によると二つの調査区における胸高断面積合計はそれぞれ27.9 m³/ha、31.0 m³/haとなっている。この調査区はいずれも尾根、斜面、谷を含んでいる地形であるが、今回のががら山の調査ではほぼ同じサイズである胸高直径（DBH）4.5 cm以上のデータで谷平均の胸高断面積合計が24.4 m³/haとなる。宮島とががら山とでは気温や標高、種組成が少し異なるものの、宮島においてはニホンジカ（*Cervus nippon*）による食害の影響があるにもかかわらず、ががら山の谷部分よりバイオマスが大きいということになる。このことは攪乱が少ない植生（シカの食害という攪乱はバイオマスの減少要因になると考えられるので除外する）において胸高断面積合計が大きくなる証左の一つと考えることができる。

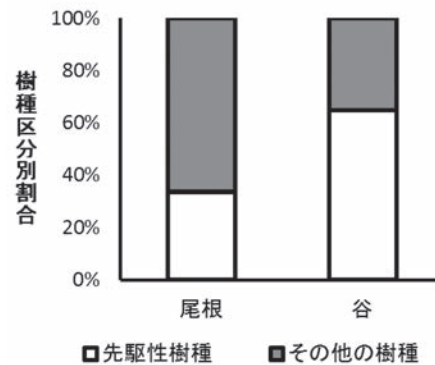


図3 樹種区分別胸高断面積合計の比率。尾根・谷別に各調査区における先駆性樹種とその他の樹種の胸高断面積合計を集計し比率を算出した。

表3 先駆性樹種とその他の樹種の分類。南ほか（2005）を参考にして本論文の出現種を分類した。

| | |
|------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| 先駆性(陽性)針葉樹 | ネズ |
| 先駆性落葉広葉樹 | コバノミツバツツジ, タカノツメ, アオハダ, ヤシャブシ, コシアブラ, コツクバネウツギ, ヤマツツジ, ナツハゼ, ネジキ, ヤマウルシ, リョウブ |
| その他の落葉広葉樹 | コナラ, ウリカエデ, ミヤマガマズミ, ヤマハゼ, ウメモドキ, アベマキ, エゴノキ |
| 先駆性常緑広葉樹 | アセビ, イヌツゲ, シャシャンボ, ソヨゴ, ヒサカキ |
| その他の常緑広葉樹 | クロキ, アラカシ, カクレミノ, モッコク, サカキ, ネズミモチ |

斜面崩壊の記録が残っているプロット009は、全プロットの中で胸高断面積合計が最も小さく、また、ヒサカキ(*E.japonica*)が個体数の77.3%を占める特徴的な植生であった(図4)。ここは攪乱後18年目であり、遷移の初期段階である。今回ヒサカキ(*E.japonica*)は、ほとんどのプロットで出現したが、遷移が進むと減少するようである。松本ほか(1999)は、鹿児島県における表層崩壊地での植生自然回復に関する調査研究で、いずれの調査地でもヒサカキ(*E.japonica*)は優占しているが、攪乱後100年以上経過すると著しく減少すると報告している。また、眞鍋ほか(1991; 1993)は、ヒサカキ(*E.japonica*)は、山火事や伐採などの人為的攪乱を受けた林地においても攪乱後の初期段階から優占する樹種であるが、鳥による種子の散布が実生の発生の多くを占め、鳥類により摂食され果皮から分離した状態で種子が散布されることが必要であるとともに、リターの蓄積は実生の定着に阻害的に働くことを報告している。したがって、プロット009は、斜面崩壊により上部から流出した土砂が堆積し裸地状態になったところへ、埋土種子や近くの母樹からの種子散布よりも、鳥によって散布されたヒサカキ(*E.japonica*)の実生が多く定着した段階であり、今後地表にリターが堆積していくにつれ、他の樹種、特に比較的大きな種子の樹種が侵入・成長してくると考えられる。

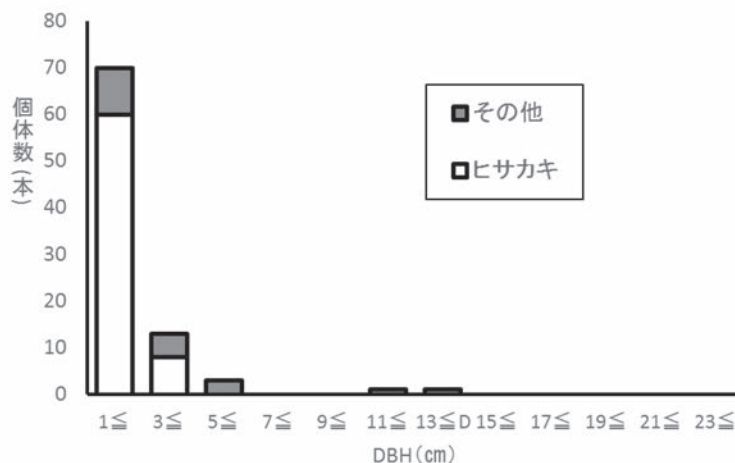


図4 調査区(009)の樹種別直径階別分布。プロット009における直径階分布をヒサカキ(*Eurya japonica*)とヒサカキ以外とに区別して表示した。

5.5. 種多様性

植物は移動することができないため、必要な資源を得るために様々な方法を取りながらお互いに共存している。安田ほか(2004)は、必要とする光の強さの違いによっていろいろな樹種が立体的に棲み分けていることや、水分や栄養分に対する要求性の異なる種が微地形に応じて共存していること、さらには開葉や結実時期など種ごとの生活史の違いが、多様な樹種の共存に貢献していると述べている。また、不定期に襲来する台風などによる風倒で攪乱が起こることで、遷移初期種が発芽・成長できる環境が現れ、その森林で共存するケースもある(安田ほか, 2004)。

一般的に、攪乱と多様性との関係では次のような傾向がみられる。すなわち安定条件下では排除されてしまうような先駆種が、攪乱があると森林内で個体群を維持できるようになり、逆に大きなサイズで高い強度の攪乱が高頻度で発生する場合には、発達した森林ができず、先駆種だけで群落が構成されるようになるため、中程度の攪乱体制で最も多くの種が共存でき、種多様性が高いという説である(Connell, 1978; 伊藤, 2011)。したがって、ががら山では不定期に起こる斜面崩壊の頻度差が、谷と尾根の種組成の違いにまで現れているとも言えそうだ。

今回の調査結果では、種多様性指標としての出現種数、シャノン・ウィナー指数とも平均すると

尾根より谷において高かったが、標本数が少ないこともあって、検定では有意差なしであった。しかし、直径階分布や個体密度、種組成など、他の項目の結果と合わせて検討すると、谷より尾根で遷移段階が進んでいる傾向を示していると考えて矛盾は生じない。

6. まとめ

この研究では、ががら山において、安定した植生と考えられる上部斜面域のうち尾根と、地

表変動による攪乱が起こっていると考えられる下部斜面域のうち谷筋斜面下部とにおける森林構造の違いについて明らかにすることを目的とした。

直径階分布や個体密度、種組成では、攪乱による遷移段階の違いに基づいて予測した結果を確認することができた。またバイオマス、種多様性についても予測した結果と矛盾しない結果が得られたと考える。

都市近郊の二次林は、近年一部を除き放置されているところが多いが、人の生活に身近なところであって、例えば地球温暖化の原因といわれる二酸化炭素の吸収・貯留に関係し、またハイキングなどのレクリエーションの場を提供し、広島の酒都西条では酒造りの水源であるなど、エコシステムサービスの一翼を担う重要な要素であるとともに、豪雨時には土砂崩壊など災害の現場ともなる。したがって、二次林の今後の推移状態を把握することは、これらの森林の適切な維持管理のために重要であると考えられる。

今回の調査における課題として、谷筋斜面下部では斜面崩壊やそれに伴う土砂堆積が起こっているという前提で、調査区を設定したことが挙げられる。一つの調査区（プロット009）以外の調査区はいつ頃どんな自然攪乱があったのかが明確ではない。記録や地形的な状況（段差地形であるとか）、土壌を掘削して調べることなどにより、崩壊地形と判断できる調査区をががら山以外でも設置することや、統計的に有意差の有無をさらに明確にするためには調査区の数を増やし、尾根・谷それぞれ少なくとも10カ所以上の調査区を設置して同様の調査を実施することが今後必要であると考えている。

注

- 1 地表面の傾斜が不連続に変化する境界線である傾斜変換点のうち、そこより下方で傾斜が急になる点（遷急点）を繋いだ線。逆が遷緩線。小岩(2004)、田村(2016)

引用文献

- Connell, J. H. (1978) Diversity in Tropical Rain Forests and Coral Reefs. *Science*. 199 (4335): 1302-10.
- 広島大学財務・総務室施設部資料(2016) ががら山地形図.
- 福島司(2005) 世界の植生の中における日本の植生の位置. 「図説日本の植生」福島司, 岩瀬徹編著 2-5. 朝倉書店, 東京.
- 石井弘明(2011) 森林の垂直構造—樹木の光利用と林冠構造の発達—. 「シリーズ現代の生態学8, 森林生態学」日本生態学会編 110-121. 共立出版, 東京.
- 石塚和雄(1977) 河原と川辺林. 「群落の分布と環境, 植物生態学講座1」石塚和雄編 240-241. 朝倉書店, 東京.
- 伊藤哲(2011) 森林の成立と攪乱体制. 「シリーズ現代の生態学8, 森林生態学」日本生態学会編 38-54. 共立出版, 東京.
- 伊藤秀三, 宮田逸夫(1977) 種多様性の測度. 「群落の組成と構造, 植物生態学講座2」伊藤秀三編 83-94. 朝倉書店, 東京.
- 岩城英夫(1979) 競争現象と物質生産. 「群落の機能と生産, 植物生態学講座3」岩城英夫編 205-240. 朝倉書店, 東京.
- Johnson, W. C., Burgess, R. L., Keammerer, W. R. (1976) Forest Overstory Vegetation and Environment on the Missouri River Floodplain in North Dakota. *Ecological Monographs* Vol.46 : 59-84.
- 気象庁(2016) 過去の気象データ検索. <https://www.jma.go.jp/jma/menu/menureport.html>, 2017年11月4日確認.
- 吉良竜夫(1971) 生態学からみた自然. 117-129. 河出書房新社, 東京.
- 小池文人(1993) 植物の相互作用. 「基礎生物学講座9, 生物と環境」太田次郎, 石原勝敏, 黒岩澄雄, 清水碩, 高橋景一, 三浦謹一郎編 66-81. 朝倉書店, 東京.
- 小岩直人(2004) 遷急点. 「砂防用語集」砂防学会編 168-169. 山海堂, 東京.
- 真鍋徹, 山本進一, 千葉喬三(1991) 攪乱跡地におけるヒサカキ (*Eurya japonica*) の実生定着と萌芽再生. *日本緑化工学会誌*, 17 (1) : 27-36.
- 真鍋徹, 山本進一, 千葉喬三(1993) コナラ二次林に

- おけるヒサカキ (*Eurya japonica*) の種子散布特性. 日本緑化工学会誌, 18 (3) : 154-161.
- 松本舞恵, 下川悦郎, 地頭菌隆 (1995) 風化花崗岩斜面跡地における植生の回復過程. 鹿児島大学農学部演習林報告23 : 10-20.
- 松本舞恵, 下川悦郎, 地頭菌隆 (1999) 表層崩壊跡地における植生の自然的回復過程. 日本林學會誌, 81 (1) : 65-73.
- 松本忠夫 (1993) 生物科学入門コース7生態と環境. 104-107, 134-141. 岩波書店, 東京.
- 南宗憲, 植松誠之 (2005) 大和川流域森林の公益的機能増進のための調査 (第4報) アカマツ林の実態調査. 奈良県森林技術センター研究報告34号 : 33-40.
- 宮脇昭 (1977) 植物群落のうつりかわり—遷移. 「日本の植生」宮脇昭責任編集 27-30. 学習研究社, 東京.
- Naka, K, Yoneda, T (1984) Community Dynamics of Evergreen Broadleaf Forests in Southwestern Japan III. Revegetation in Gaps in an Evergreen Oak Forest. The Botanical Magazine, Tokyo 97 : 278.
- 西村尚之, 原登士彦 (2011) 樹木の個体間競争と種の共存. 「シリーズ現代の生態学, 森林生態学」日本生態学会編 173-188. 共立出版, 東京.
- 野本宣夫 (1977) 総生産と純生産. 「群落の遷移とその機構, 植物生態学講座4」沼田真編 187-190. 朝倉書店, 東京.
- 沼田真 (1977) 植物遷移学の概念と歴史. 「群落の遷移とその機構, 植物生態学講座4」沼田真編 1-11. 朝倉書店, 東京.
- 大賀宣彦 (1977) 木本期の遷移. 「群落の遷移とその機構, 植物生態学講座4」沼田真編 30-43. 朝倉書店, 東京.
- 大野啓一 (2005) 暖温帯の照葉樹林. 「図説日本の植生」福島司, 岩瀬徹編著 30-33. 朝倉書店, 東京.
- 斎藤員郎 (1977) 地形と土壌生成作用. 「群落の分布と環境, 植物生態学講座1」石塚和雄編 207-210. 朝倉書店, 東京.
- 坂本充 (1976) 生態学講座11b生態遷移II. 18-21. 共立出版, 東京.
- Shannon, C. E. (1963) The mathematical theory of communication. 125. University of Illinois Press, Chicago.
- 鈴木栄治 (1993) 群集の動態—遷移—. 「基礎生物学講座9, 生物と環境」155-166. 朝倉書店, 東京.
- 高木哲一, 水野清秀 (1999) 海田市地域の地質. 通商産業省工業技術院地質調査所, 42, 14-27.
- 武田義明 (1983) アカマツ・コナラ林の植生と植物. 「日本の植生図鑑〈I〉森林」中西哲, 大場達之, 武田義明, 服部保共著 13-44. 保育社, 大阪.
- 田村俊和 (2016) 日本の地形学とその関連分野における微地形の認識. 「微地形学」藤本潔, 宮城豊彦, 西条潔, 竹内裕希子編著 1-22. 古今書院, 東京.
- Thi Ha (2005) 降雨時の風化花崗岩斜面の不安定化機構に関する研究. 広島大学大学院工学研究科博士学位論文.
- 寺本行芳, 下川悦郎, 地頭菌隆, 中村妃寿 (2005) 串良川流域における侵食および土砂氾濫域の植生回復過程. 鹿児島大学農学部演習林報告33 : 9-20.
- 山中二男 (1979) 日本の森林植生. 89-91. 築地書館, 東京.
- 山田俊弘, 奥田敏統 (2014) 広島県宮島の常緑広葉樹林における植物の分布と地形. 広島大学総合科学研究科紀要, II, 環境科学研究9巻 : 19-28.
- 安田弘法, 野田隆史, 八木橋勉, 梶本卓也 (2004) 生物群集とその分布. 「生態学入門」日本生態学会編 179-209. 東京化学同人, 東京.