

世界遺産白神山地モニタリング  
調査報告書要約版（平成 11～20 年度）

白神山地ブナ林モニタリング調査会

環境省東北地方環境事務所

## モニタリングの経緯と方法

白神山地が、純度の高さやすぐれた原生状態の保存、動植物相の多様性で世界的に特異な森林であり、東アジアにおける氷河期以降のブナ林の代表であるという理由で我が国初の世界遺産に登録されて15年が経過した。1998年以來白神山地ブナ林における森林動態の経年変化を観察して、ブナ林の更新過程に関する白神山地の地域特性を把握し、将来の気候変動や環境汚染が更新動態に与える影響を早期に検出する事により、白神山地世界遺産地域の保安全管理に資することを目的として、モニタリングを実施してきた。このモニタリング調査は、環境省東北地区国立公園・野生生物事務所（現 環境省東北地方環境事務所）の「白神山地世界遺産地域の森林生態系保全のためのモニタリング手法の確立と外縁部の森林利用との調和を図るための森林管理法に関する研究（1998-2002）」により開始された。その後、2003年以降も、ボランティアを中心とした自主的なモニタリングが継続された。

モニタリングは、当初研究者と調査委員が中心となって開始されたが、モニタリング調査継続には多くの人材が必要であり、学生や地元を中心とした一般人とも白神山地ブナ林の生態系についての理解を共有したいとの考えから、青森県自然観察指導員連絡会（ウォッチング青森）を中心に白神山地ブナ林モニタリング調査会を結成してモニタリングを継続してきた。事前講習の徹底により測定技術や精度の向上に努めてきた。この間、財団法人日産科学振興財団（2000-2001年）、財団法人国際花と緑の博覧会記念協会（2007年）から助成金を受けている。

モニタリングのためのサイトは、世界遺産地域の青森県側の中央部を流れる赤石川源流部にあたる櫛石山（海拔764.4m）南斜面の尾根部（尾根サイト、610-620m）、中腹部（クマゲラサイト、510-540m）、谷底部（ヤナダキサイト、360-390m）の3箇所（各1ha）であり（図1）、尾根サイト南側隣接地には気象観測施設を設置した。また、2005年からは岩崎中学校エコクラブによって、十二湖周辺（250m）にもモニタリングサイト（0.25ha）が設置された。

表1. ブナ林の動態に関する観測項目（遺産地域内の3サイトの場合）

調査項目	調査頻度	調査開始年	調査内容
調査方形区	設定時のみ	1999	1ha サイト 3箇所（ヤナダキ、クマゲラ、尾根） 地形測量
成木	毎年	1999	胸高直径 5cm 以上の樹木を対象 胸高直径、位置
低木	毎年	2000	樹高 50cm 以上、2m×5m 枠×10 個/サイト 樹高、地際直径
ササ	毎年	2000	2m×5m 枠×10 個/サイト 稈長、地際直径（新規のみ） 生死、群落高
実生	毎年	1999	高さ 50cm 未満、1m×1m 枠×40 個/サイト 樹種、生死、高さ
種子	夏季のみ毎月	1999	0.5 m <sup>2</sup> のリタートラップ×20 個/サイト 1 か月ごとに回収、仕分け 種子数（状態：未熟、虫食い、しいな、健全）、 リター量
光条件	5年毎	2000	全天写真（2000年7月、2005年9月） 実生枠（1m×2m）につき一地点、地表、ササの上（2m）

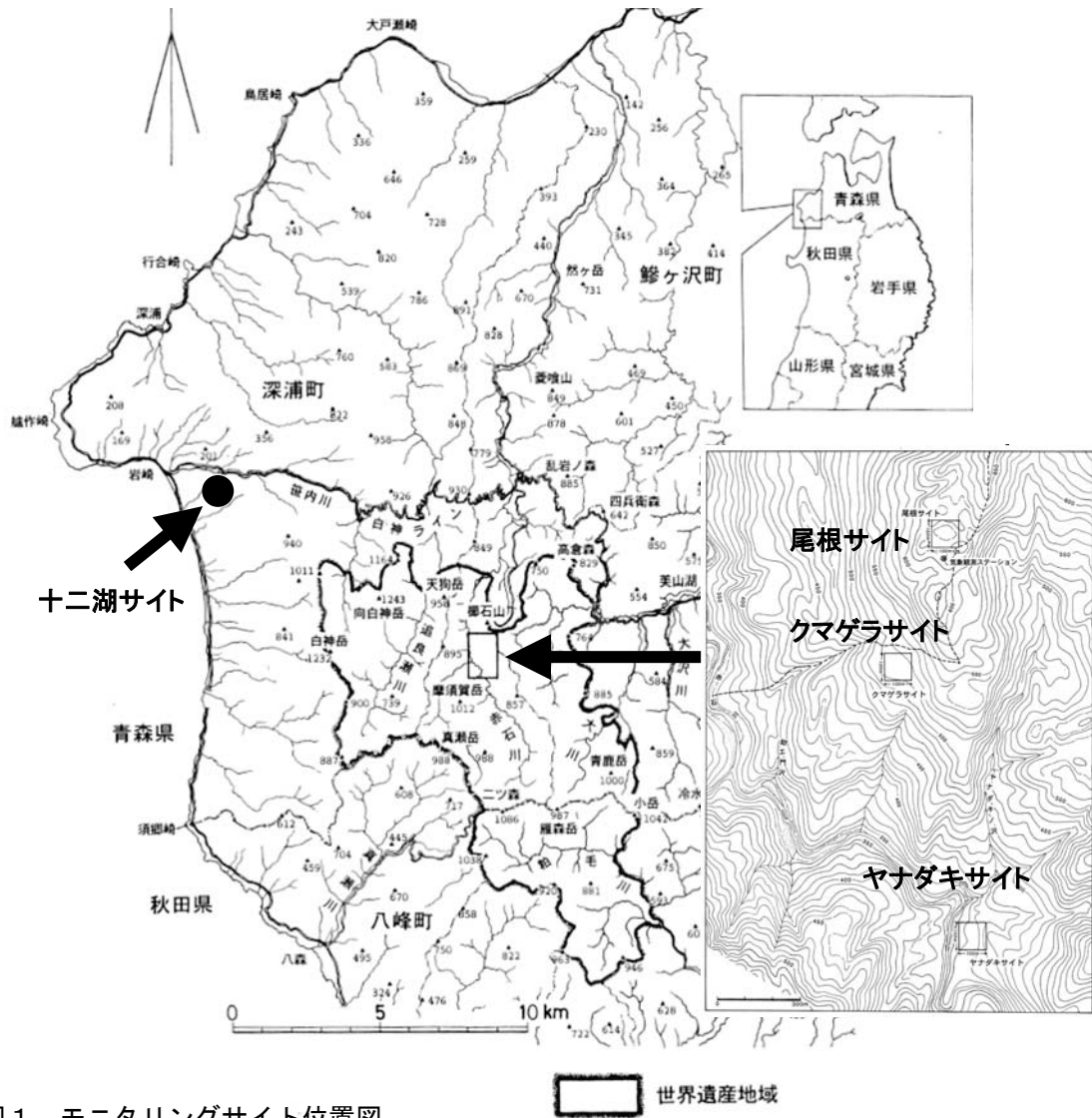


図1. モニタリングサイト位置図



尾根サイト



クマゲラサイト



ヤナダキサイト



十二湖サイト

## これまでの結果

### ＜ブナ林の組成と構造＞

樹木の組成を見ると、いずれのサイトでもブナのBA(胸高断面積)が大きく、他の樹木のBAは小さい。また、オオバクロモジやハウチワカエデ、ウミズザクラの出現頻度が高いなど、典型的な日本海側のブナ林の特徴を示している。

直径分布からはそれぞれのサイトのブナ林の成立過程の違いが示唆される(図2.)。クマゲラサイトの半分は地すべり跡地にあり、胸高直径最大約60cmでサイズのそろったブナが多く、一斉に成立したことを示唆する。地すべり跡地以外の森林は、ヤナダキサイトのものと似ており、一般的なブナ林の直径分布に近い。尾根サイトでは、最大120cmにもおよぶ大径のブナがある一方、過去の倒木によって林冠ギャップとなった部分も多いため、小径の樹木密度が非常に高い分布となっている。ヤナダキサイト、十二湖サイトのブナ林は典型的なブナ原生林の構造といえる。

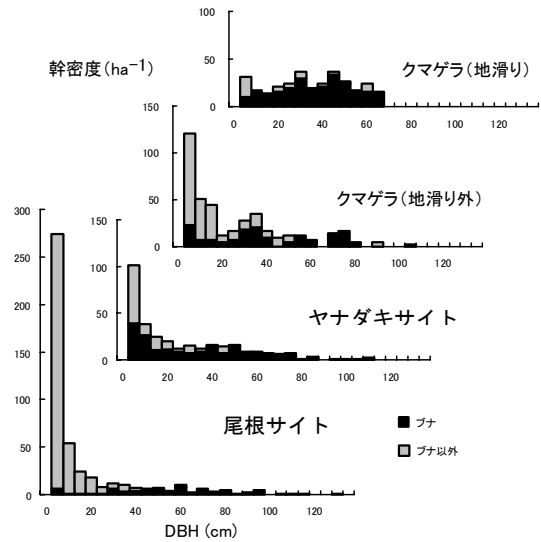


図2. 遺産地域ブナ林の直径分布

### ＜樹木個体群の動態＞

1999年から2008年までの樹木(胸高直径5cm以上)は、新規加入した個体数、死亡個体数ともに尾根サイトで最も高かった。尾根サイトでは大木となった樹木の多くが枯死し林冠ギャップの比率が高くなっており、小径木の成長が早くなるとともに、競争により死亡率も高くなっていると推定できる(表2.)。逆にクマゲラサイトでは新規加入個体が少なく、一斉林として育ってきたことを示している。サイズごとの死亡率の違いから見ても、尾根サイトでは小径木の競争が激しいことが明らかである(図3.)。

表2. 個体数の変化

		個体数 (個/ha)	加入(/9yr) (%/yr)	枯死(/9yr) (%/yr)	BA (m <sup>2</sup> /ha)
ヤナダキサイト	1999	340	63	32	33.4
	2008	371	(2.06)	(1.05)	35.4
クマゲラサイト	1999	370	42	55	42.0
	2008	357	(1.26)	(1.65)	42.4
尾根サイト	1999	562	165	143	29.5
	2008	584	(3.26)	(2.83)	29.2

年間死亡率(%)

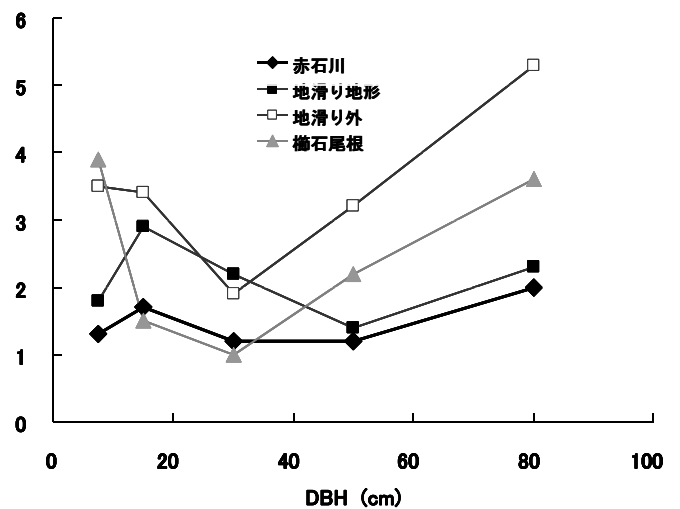


図3. 直径クラスごとの死亡率

### <現存量の変化>

1999年から2008年までの現存量変化を、成長による増加分と枯死による減少分に分けて推定すると、台風などにより、大径木が倒木・枯死することによって、大きな年変動が起こっていた。また、成長分は、この9年間で、若干減少傾向にあり、温暖化などによる呼吸量の増加などが可能性として考えられるが、現時点では判断できない。

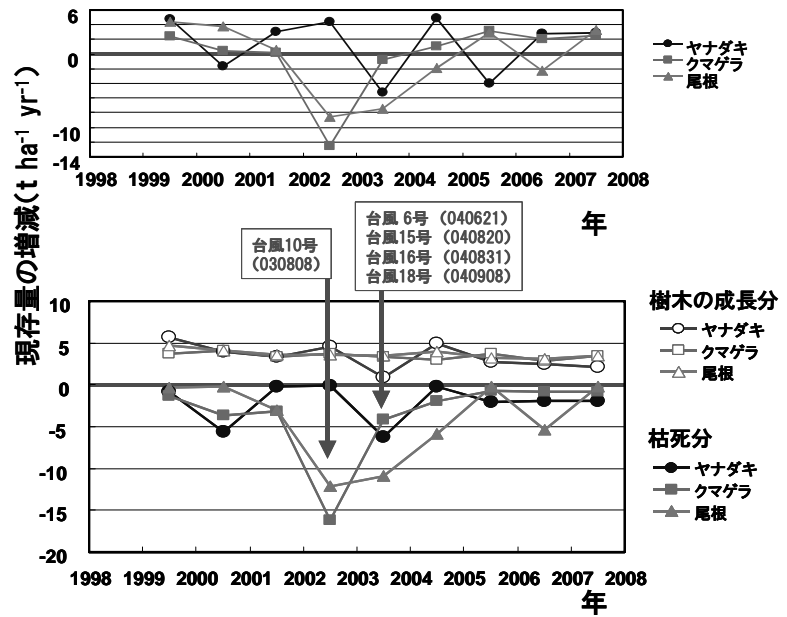


図 4. 現存量の変化

### <低木>

いずれの調査区でも、オオバクロモジ、オオカメノキ、タムシバといった低木性樹種が大部分を占めている。高木性樹種の稚樹としては、ブナ、イタヤカエデ、ホオノキなどが認められるが、その本数はさほど多くない。経年変化をみると、どのサイトでも、2006年から増加傾向を示していることが分かる(図5.)。

ササの稈密度もサイトによって大きく異なっており、低木同様尾根サイトでは他の2サイトに比べて高い(図6.)。経年変化をみると、尾根では2005年以降、密度が上昇している。低木の密度と同様、2004年および2005年にこの地方を通過した台風により、林冠木が倒れ、林冠ギャップが形成されたことと対応している。

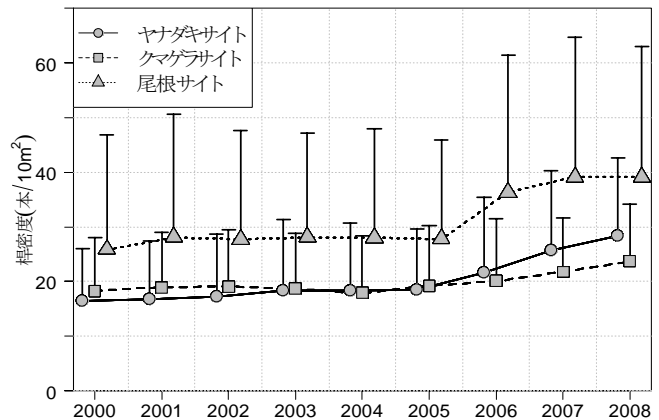


図 5. 各サイトにおける低木層の幹数密度の経年変化

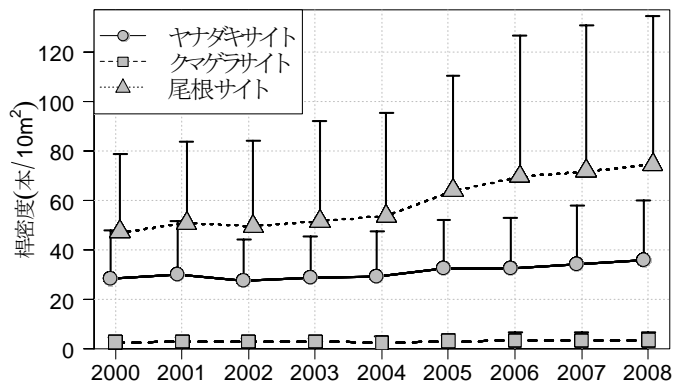


図 6. チシマザサの平均稈密度の経年変化

＜種子生産・落葉落枝＞

ブナの種子生産は2000年が圧倒的に多く、櫛石尾根では1㎡あたり1000個を超える種子が落下した(図7)。全体に、落下種子数の少ない年やプロットでは昆虫による種子の食害率が高く、生産量の多いときには食害率が低い傾向があった。これは、種子捕食昆虫(おそらくはブナヒメシンクイ)の飽食効果を示唆する。

リター量も年変化するが、その大きな要因はブナ種子の大量結実であった。葉の量は大きな変動をしないが、種子の豊作年には葉の量が減少する傾向がある。2000年の落葉量は2001年より10-15%少なく、総リター量は2001年より30%ほど多くなっている。しかし、ヤナダキではこのような大きな変化は見られなかった。

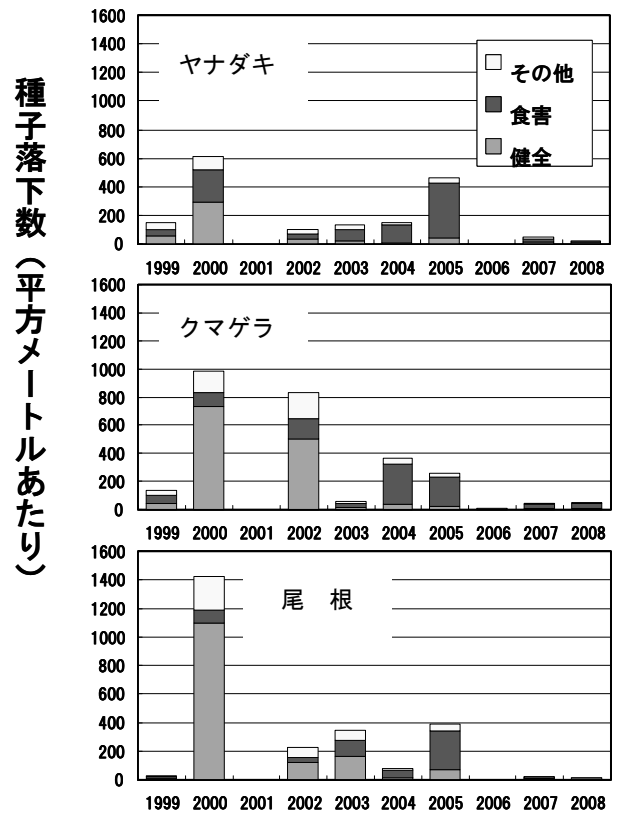


図7. ブナ落下種子の年変化

＜実生＞

1999年から2008年までに実生の出現が確認された高木性樹種は3サイト合計で19種であり、このうちブナ・イタヤカエデ・ウワミズザクラ・コシアブラ・ハウチワカエデ・ウダイカンバ・ホオノキの7種はすべてのサイトに出現した。実生の総密度は尾根サイトで6.8本/㎡ともっとも高く、ついでクマゲラサイト3.2本/㎡、ヤナダキサイト2.5本/㎡の順であった。どのサイトでもブナの豊作年の翌2001年に密度が最大となったが、大量に加入したブナ実生も、1~2年でほとんどが消失し実生密度の増加はごく一時的なものにとどまった(図8.)。

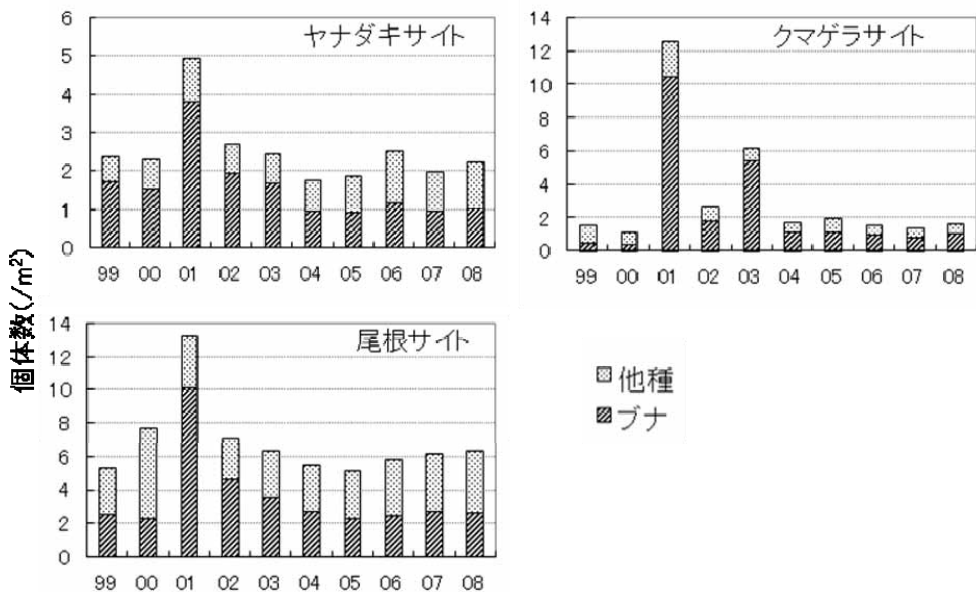


図8. 各調査サイトの実生密度の年変化

<光条件>

0m 高の透過率を 2m 高の透過率で割ると、尾根サイト 0.74、クマゲラサイト 0.92、ヤナダキサイト 0.82 となり(図 9.) 低木・ササの密度が高いほど値が小さかった(図 5. 図 6.)。2000 年と 2005 年を比較すると、ヤナダキサイトの平均透過率は 0m 高、2m 高それぞれ、6.2%、7.4%から

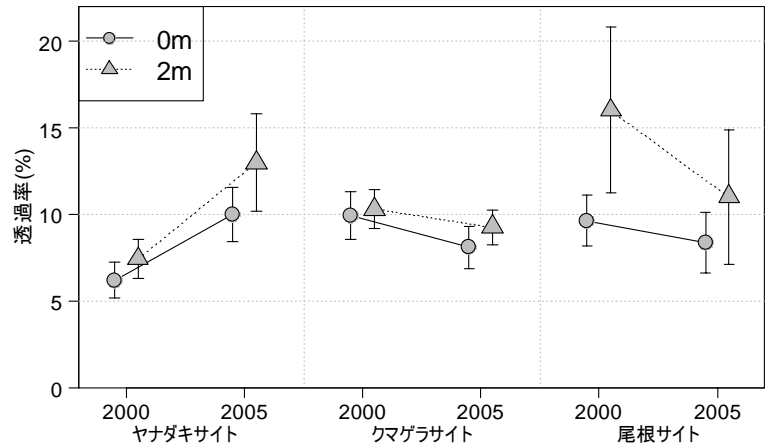


図 9. 各調査サイトの平均透過率

10.0%、13.0%と全体的に増加していた。これは、2004 年に通過した台風 15、16、18 号の影響でサイト内の多くの樹木が倒れたためと思われる。2m 高のうち全サイト、兩年を通して最も透過率の平均値が高かったのは 2000 年の尾根サイトであったが、既出のように 2005 年の尾根サイトは倒木で樹冠が空いたために、低木による光の減退を考えなければ 2000 年より透過率は増加し 2005 年現在で 3 サイト中もっとも光が進入するサイトであると考えられる。

<十二湖モニタリングサイト>

十二湖は 1704 年に発生した M7 の大地震によって大崩が大崩落を起こし、この時に生じたと思われる。したがって、調査地周辺のブナ林は 300 年余りの時間をかけて形成されたと考えられ、サイト内にも胸高直径約 1m のブナの大径木が生育している。直径分布図はヤナダキサイトと似ているが(図 10.)、樹木の組成がすこし異なる。幹数ではハウチワカエデ、ブナ、イタヤカエデ、ハクウンボクの順に多く、BA ではブナが全体の約 8 割を占めた。

ブナ種子の生産量(2005-2008 年)では、2007 年が 438 個/m<sup>2</sup> と最大であったが、虫害率では 2007 年が 26% と低かった。2007 年を例に種子落下数の季節変化を見ると、夏季に落下した種子の多くが食害を受けており、これは他の年も同様であった(図 11.)。

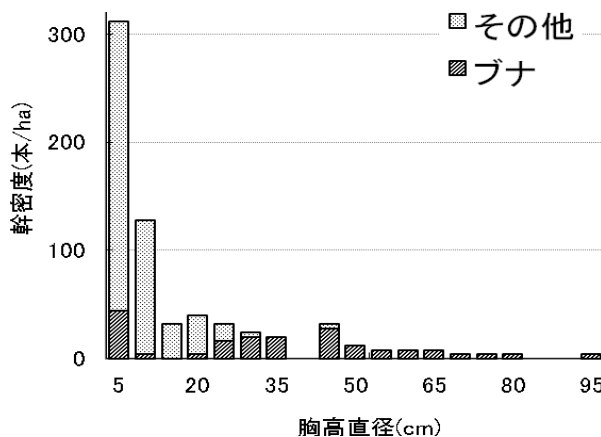


図 10. 十二湖サイトの直径分布

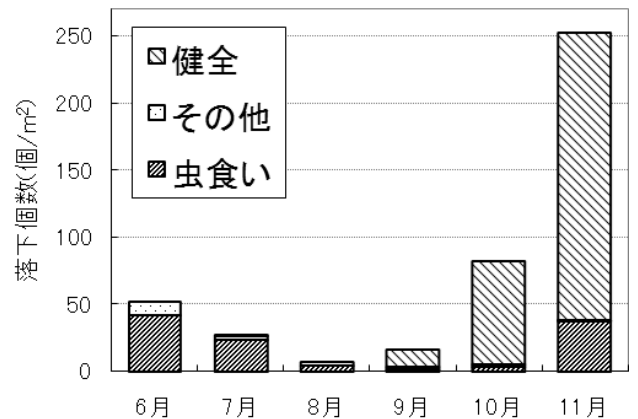


図 11. 落下種子の季節変化

## ブナ林の遺伝解析

日本各地のブナ林には極めて高い遺伝的多様性が見られ、それが森林の維持に重要な役割を担うと考えられているが、白神山地においてブナ林の遺伝子調査は行われていない。この調査では、世界遺産核心地域におけるブナの遺伝的多様性を調査し、他地域のブナ林と比較した。

核心地域の尾根サイト（63 個体）、クマゲラサイト（161 個体）、およびヤナダキサイト（177 個体）において胸高周囲 15cm 以上のブナ個体の葉のサンプル採集を行った。また、緩衝地域の高倉森サイト（約 1.65ha）においても胸高周囲 30cm 以上のブナ個体（246 個体）からサンプルを採集し、SSR マーカー 6 つを使って遺伝子型を決定し、それぞれのサイトの集団について、対立遺伝子数 (Na)、対立遺伝子の有効数 (Ne)、ヘテロ接合度（観察値）(Ho)、不偏ヘテロ接合度（期待値）(UHe)、近交係数 ( $F_{IS}$ ) を求めた。また、各集団において Hardy-Weinberg 平衡 (HWE) が成立しているかどうかの指標として、UHe と Ho のずれを  $\chi^2$  検定によって評価した。

集団毎の UHe 値を比較すると、核心地域の 3 集団並びに高倉森の集団はほぼ同程度の多様性を保っていることが示唆された（表 3.）。また、近交係数 ( $F_{IS}$ ) の平均値も全ての集団においてほぼ 0 に近い値を示した。いずれの集団においてもハーディー-ワインバーグ平衡 (HWE) からの有為なズレは見られなかった。一方、クマゲラサイトの集団を地すべり地形の集団とそれ以外の集団に分けて解析したところ、地すべり集団とそれ以外の集団の間に遺伝的構成の違いが示唆された。白神山地には地すべり地形が非常に多いので、このような微地形が山地全体のブナ林構成に少なからず影響している可能性が考えられる。

また、尾根サイトを除くすべてのサイトに於いて半径約 30 m 以内での空間遺伝構造が認められた。これらの遺伝構造の類似性より各サイトにおける遺伝子流動の範囲が似通っていることが伺える。一方、尾根サイトにおいては明らかな遺伝構造が見られなかった。これには尾根サイトにおけるブナ個体の割合が他のサイトに比べて低いことや、林冠ギャップの占める割合が大きいことなどとの関連性が考えられる。また、クマゲラサイトの地すべり外の集団においても遺伝構造がはっきりしない傾向があり、立地条件等の違いによって繁殖の範囲が異なる可能性が示唆された。

表 3. 各サイトにおける遺伝的特性の指標（6 マーカーの平均値）

Pop	Na		Ne		Ho		UHe		Fis		N	
	Mean	SE	Mean	SE	Mean	SE	Mean	SE	Mean	SE	Mean	SE
One	13.2	2.0	6.7	1.2	0.830	0.059	0.815	0.053	-0.028	0.026	58.8	1.9
Kumagera	17.3	3.0	6.9	1.2	0.800	0.049	0.821	0.047	0.021	0.034	150.3	6.9
0	13.7	2.5	7.3	1.2	0.848	0.037	0.837	0.044	-0.028	0.037	54.0	2.3
1	15.8	2.6	6.4	1.1	0.773	0.059	0.808	0.049	0.039	0.041	96.3	4.7
Yanadaki	15.7	2.3	7.2	1.2	0.817	0.044	0.822	0.054	-0.002	0.019	166.3	0.2
TakakuraA	18.5	3.0	7.5	1.4	0.832	0.053	0.829	0.048	-0.006	0.016	221.3	0.9
TakakuraY	15.8	2.7	6.5	1.1	0.803	0.050	0.806	0.054	-0.007	0.037	120.7	0.7

0 ; 地すべり外、1 ; 地すべり



## 気象条件

### <櫛石尾根での観測>

1999年櫛石山尾根部（標高615m）に気象観測施設を設置し、平均風速、最大風速、風向、気温、地温、相対湿度、雨量、日射量、積雪量の9項目について、1時間インターバルで観測した。この観測によると、年平均気温の平年値は、7.2℃、温量指数は、61.0、寒さの指数は、34.6となった。平均気温が最も寒い月は、1月の-4.7℃、最も暖かい月は、8月20.5℃であり、10年間で温度の上昇のような明確な傾向は見られなかった（図12.）。1時間雨量の最大値は2008年8月20日に観測した45.5mmで、局地的な降雨だったと思われる。24時間雨量の最大値は2007年9月17日の9時からの24時間の記録で、206.4mmであった。台風から変わった温帯低気圧と秋雨前線の影響で断続的に雨が降ったと考えられる。

長期積雪の初日、終日の平年値はそれぞれ、11月30日、5月17日であった。同様に平均積雪期間は、168日で1年のうち5ヶ月半積雪があることになる。最深積雪の6年間の平均は、3.87mで平均して3月1日に記録される。最も深い積雪深は、1999年で4.71m、逆に最も少なかった年は、2006年の2.90mであった。最深積雪は近年ほど少なくなっており小雪傾向にあるが、2000年から2003年まで欠測しているため傾向は明確ではない。また、長期積雪の初日、終日、積雪期間に温暖化の傾向は見られなかった。

1999年9月に最大瞬間風速21.5m、2004年9月に最大瞬間風速18.1mを記録した。両ケースとも台風であり、特に2004年の18号はサイト内でも直径1mを超えるブナが倒れ、この10年で最も大きな攪乱であった。

### <各サイトでの観測>

このほかに、尾根サイト（標高615m）、クマガラサイト（515m）、ヤナダキサイト（375m）、十二湖サイト（250m）の林内でも、地上1.5mにおける気温と湿度および地温（リター層直下の地表面温度）を測定した。気温と湿度については、十二湖では通年、他のサイトでは6-11月のみである。

気温の年平均値を遺産地域のサイト間で比較すると、ヤナダキサイトの2004年の値を除いてクマガラサイトが最も高く尾根サイトでは最も低い年平均気温を示し、0.5℃程度の差があった（表4.）。日較差では谷底に位置するヤナダキサイトで最も大きな値を示した。地温の変化から積雪期間を推定すると、9年間の平均で、根雪の開始は尾根サイトが11月23日で最も早く、ヤナダキサイトが11月28日で最も遅い。平均の雪解けはクマガラサイトが5月6日、尾根サイトが5月12日であった。積雪期間の平均はヤナダキサイトとクマガラサイトで163日、尾根サイトで172日であった。年次毎で比較すると、積雪期間の最長は2001年から2002年の尾根サイト（198日）であり、最短は2007年から2008年のヤナダキサイト（141日）で、50日ほどの幅があった。

十二湖のサイトの結果は、白神山地のサイトの結果と比較して、気温、地温とも1.5℃から2℃高く、それぞれの日較差も小さかった。積雪の開始は12月初旬で、雪解けは3月下旬から4月で、積雪期間の平均は126日であった。遺産地域より40日から50日短い。

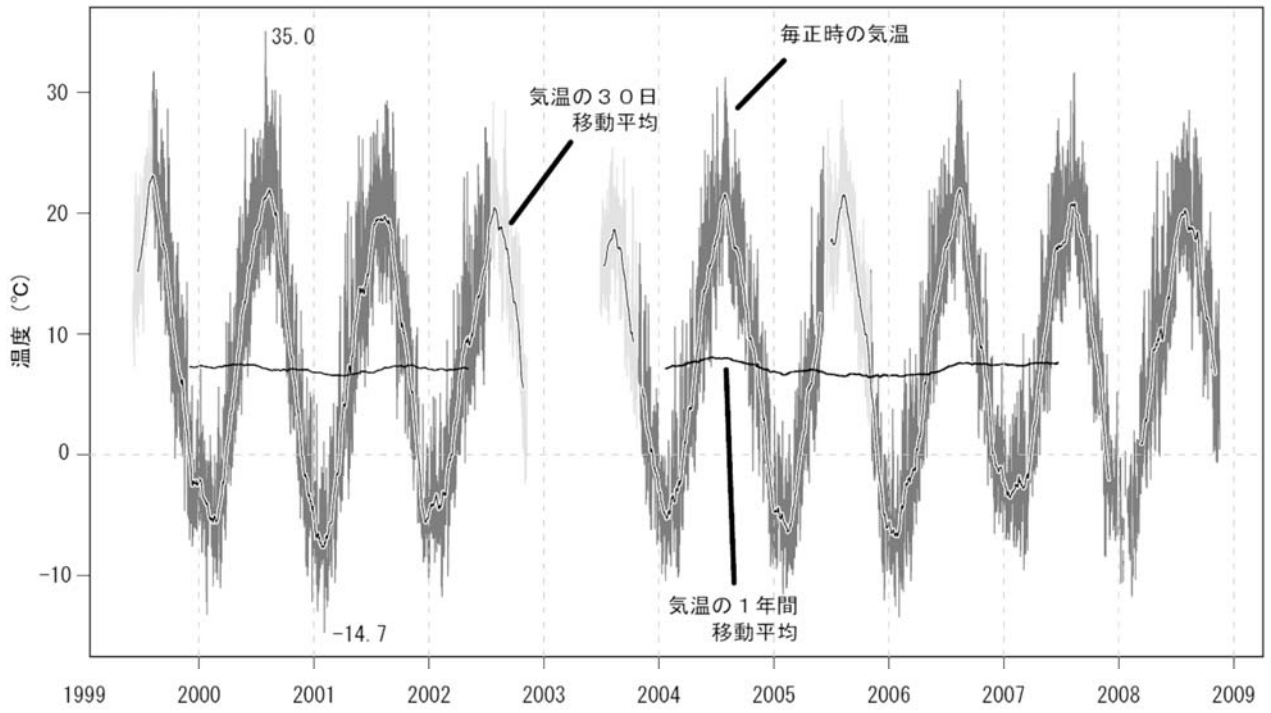


図 12. 遺産地域尾根部の気温変化

表 4. 各観測場所の 6 月から 10 月の平均気温

	標高	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
櫛石山気象観測施設	615m		16.8	15.9			16.2		16.2	16.1	16.2
尾根サイト	615m	16.6	16.4	15.6	15.4	14.3	15.8	16.0	15.9	15.9	
クマゲラサイト	515m	17.0	16.9	16.1	16.0	14.8	16.4	16.6	16.4	16.5	
ヤナダキサイト	375m	16.5	16.6	15.7	15.9	14.5		16.3	16.1	16.1	
十二湖サイト	250m								18.0	17.9	17.8