

# 修 士 論 文

題 名 沼田市玉原高原ブナ林の有する  
CO<sub>2</sub> 吸収・固定能力に関する実地研究

学籍番号 10901003

氏 名 金井 康夫

指導教員名 石川 真一 教員

平成 24 年 1 月 1 6 日 提出



# 沼田市玉原高原ブナ林の有する CO<sub>2</sub> 吸収・固定能力に関する実地研究

## 目 次

|                                        |    |
|----------------------------------------|----|
| 概要                                     | 1  |
| 緒言                                     | 3  |
| 地球温暖化のメカニズムと気候・生態系への影響                 | 3  |
| 地球温暖化防止に向けた CO <sub>2</sub> 削減対策       | 4  |
| CO <sub>2</sub> 吸収における森林生態系の役割         | 5  |
| ブナ林の成立過程と分布要因                          | 6  |
| 里山林としてのコナラ林の特徴                         | 11 |
| 日本の森林の CO <sub>2</sub> 固定機能に関する研究の課題   | 12 |
| 群馬県と沼田市の CO <sub>2</sub> 削減にむけた取り組みの概要 | 12 |
| 群馬県沼田市と東京都新宿区のカーボンオフセット協定              | 14 |
| 本研究の目的                                 | 17 |
| 調査地概要                                  | 18 |
| 調査・研究方法                                | 19 |
| 毎木調査                                   | 19 |
| 樹木現存量の推定                               | 20 |
| 成木成長量と純一次生産量の算定                        | 21 |
| 結果および考察                                | 22 |
| 玉原高原ブナ平の調査区内の樹木の空間分布                   | 22 |
| 各樹種の樹高・DBH の頻度分布                       | 23 |
| 各樹種の樹高と DBH の関係                        | 25 |
| 各樹種の個体重量（現存量）の頻度分布                     | 26 |
| 樹高・DBH と成木生長量の関係                       | 28 |
| 現存量合計と純一次生産量                           | 29 |
| 総合考察                                   | 33 |
| 謝辞                                     | 37 |
| 引用文献、HP                                | 38 |



## 概 要

現在、CO<sub>2</sub>削減対策として、省エネルギーや、化石燃料に変わる代替エネルギーの利用、開発などが進められている。しかし日本をはじめとする多くの国において、削減率という効果的な方法は、森林生態系による CO<sub>2</sub>吸収である。森林生態系の有する CO<sub>2</sub>固定能力は非常に大きい。特に、国土の三分の二を森林が占めている日本にとって、森林生態系の持つこの能力は CO<sub>2</sub>削減に大きな効果を発揮する存在であると考えられる。

しかし、森林による CO<sub>2</sub>吸収・固定量を測定する研究には困難が多く、それほど進展していない。なぜなら、森林生態系ごとに CO<sub>2</sub>収支および収支に対する生物的、物理化学的環境条件の諸影響が異なるため、信頼度の高い情報を取りまとめることが難しいからである。

このような絶対的な研究不足のなかにおいても、群馬県沼田市は、独自の CO<sub>2</sub>削減対策として、森林による CO<sub>2</sub>吸収・固定量を算定・活用しようとしている。沼田市は東京都新宿区と「地球環境保全の連携に関する協定」を締結し、同市白沢町のゴルフ場跡地に約4,000本のコナラを植栽し、下刈りも実施した。場所は、かつてはゴルフコースや芝の養成地だった土地で、広さは約17haになる。3年間でコナラなどを植え、2020年まで毎年、下刈りや間伐、枝打ちを行い、森林の再生を図る。効果としては、年約70tのCO<sub>2</sub>が吸収・固定される見込みであるという。

この事業には、約2,800万円の予算を執行する予定だが、費用対効果の面から考えると、沼田市内に残る広大なブナ林を活用することは考えられないのだろうか。また単なる CO<sub>2</sub>吸収源としてだけではなく、森林生態系の多様な機能発揮も地球温暖化対策には不可欠であるため、ブナ林のような自然林の保全のためには、その根拠の一つとなる CO<sub>2</sub>吸収・固定能力の解明は不可欠であると考えられる。

そこで本研究では、沼田市内の玉原高原ブナ林の有する CO<sub>2</sub>吸収・固定能力を解明することを目的として、ブナ平での毎木調査によってその現存量を推定するという実測調査を行った。この結果を基にして、玉原高原ブナ林の有する CO<sub>2</sub>吸収・固定能力を明らかにし、また沼田市が新宿区と提携して開始した、カーボンオフセット事業へのブナ林の活用の可能性を考察した。

毎木調査の結果から、個々の樹木の年間生長量を算出した。ブナでは、樹高15m以下、DBH20cm以下程度の個体では生長量が少なかった。これらの間に分布する個体では、生長量は数kgから20kgを越える個体まで様々であり、また有意な生長の見られない個体も複数みられた。これらの結果は、ブナの成木は相対生長を行うので、中間的なサイズで最も生長量が多くなるが、実際には個体ごとの生育環境によって大きく左右されることを強く示唆するものであると考えられる。林内にギャップが諸処で見られたことから、個体ごとにおかれた光環境の違いが、生長量を大きく左右すると考えられる。

これらの結果から、本調査地において 2011 年の生長期間を通じて、合計 323.7Kg、1.3 t ha<sup>-1</sup> の成木生長があったと推定された。また純一次生産量 (NPP) は、これに葉の生産量 (= 葉の重量合計) を足して 6.3 t ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup> と推定された。ここから、ブナ平のブナ林は年間約 3.2t ha<sup>-1</sup> の炭素を吸収・固定し、CO<sub>2</sub> 換算ではこれに 3.67 (分子量比 44/12) を乗じて、年間約 11.6t ha<sup>-1</sup> が吸収・固定量と算出された。

沼田市・新宿区のカーボンオフセット協定に際して群馬県が認証した、年間約 70t の CO<sub>2</sub> 吸収・固定量は、面積換算すると約 4.2 t ha<sup>-1</sup> となる。すなわち玉原高原ブナ平のブナ林は、この値の約 3 倍近くもの CO<sub>2</sub> 吸収・固定能力を有しているといえる。

吉良 (1976) がまとめた日本の森林タイプごとの地上部純一次生産量の推定値では、冷温帯落葉広葉樹林で 8.74±3.47 t ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup> となっている。本研究で得られた NPP の推定値である 6.3 t ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup> から根の増加分 0.2 を引くと 6.1 となり、この値が、地上部純一次生産量に相当する。すなわち玉原高原ブナ林の地上部純一次生産量は、吉良が示した冷温帯落葉広葉樹林の値の範囲に入る、標準的な値であるといえる。

ブナ林には現在、地球温暖化によって衰退する危険性が迫っているとされる。ブナ林の衰退が今後本当に進行してしまうと、ブナ林の有する CO<sub>2</sub> 吸収・固定能力を大きく損ない、最悪の場合そこに貯留されてきた巨大な炭素ストックまで放出に向かうことで、温暖化を加速してしまいかねないだろう。森林保全によって温暖化の進行を防止する対策は重要であるが、同時に、化石燃料消費の抜本的な削減など、温暖化の主原因物質である CO<sub>2</sub> の放出を激減させる対策が不可欠である。

## 緒 言

### 地球温暖化のメカニズムと気候・生態系への影響

地球温暖化による影響は、自然環境や人間社会にまで大きな影響をもたらし、生態系の基盤を脅かすという、人類社会にとってもっとも大きな問題となっている。地球温暖化は、CO<sub>2</sub>などの温室効果ガスの大気中濃度が上昇することによって起こる。

IPCC 第4次評価報告書第1作業部会報告書（2007）によると、CO<sub>2</sub>の世界的な大気中濃度は、工業化以前（1750年）の約280ppmから2005年には379ppmに増加した。2005年における大気中CO<sub>2</sub>濃度は、氷床コアから決定された、過去約65万年間の自然変動の範囲（180～300ppm）をはるかに上回っている。また、SRES 排出シナリオの範囲では、今後20年間に、10年当たり約0.2℃の割合で気温が上昇すると予測されている。また、IPCC 第4次評価報告書第3作業部会報告書（2007）には、2000年から2030年までの間にエネルギー利用から発生するCO<sub>2</sub>排出量は、同期間中に45～110%増加すると予想されている。

気象庁の気候変動監視レポート（2010）によれば、大気中CO<sub>2</sub>濃度は2008年には385.2ppmに達した。気温に関しては、1906年から2005年までの間に世界平均気温が0.74℃上昇し、最近50年間の気温上昇傾向は、過去100年間のほぼ2倍である。1898年から2009年までの間に世界の年平均気温は0.31℃上昇、100年あたり0.68℃の割合で上昇し、日本においては、年平均気温は0.56℃上昇、100年あたり1.13℃の割合で上昇している。

地球温暖化の原因である温室効果ガスの2004年度のCO<sub>2</sub>総排出量は、世界合計258.5億トン（Emissions from Fossil Fuel Combustion 1971–2004）、日本では12億8,600万トンであり、温室効果ガスの総排出量のうち94.9%を占めた（環境省HP）。このことから、地球温暖化に対してCO<sub>2</sub>の寄与が最も大きいといえる。工業化以後における大気中のCO<sub>2</sub>濃度の上昇の主要な原因は化石燃料の使用であり、土地利用の変化も重要ではあるがその影響は小さい（IPCC 第4次評価報告書第1作業部会）。

また、急激な気温上昇は生態系にも大きな影響を与えると危惧されている。IPCC 第4次評価報告書第2作業部会報告書（2007）によると、具体的には、これまで評価された植物及び動物種の約20～30%は、全体平均気温の上昇が1.5～2.5℃を越えた場合、増加する絶滅リスクに直面する可能性が高いとされている。温暖化が進むと、気候システムは全体として高緯度や標高の高い地域への移動を強いられるが、移動速度の遅い動植物は、生育範囲を変えることが難しいためである（岩槻・堂本 2008）。

大地に根を張り暮らす植物にとって移動は簡単ではなく、また温度環境は光合成生産活動ひいては植物の生長と生存・繁殖に直接的な影響を及ぼすと考えられる。したがって、まず温暖化が地域生態系の基盤である植物の多様性に及ぼす影響を解明し、正確に評価する必要がある（原沢・西岡 2003）。

## 地球温暖化防止に向けた CO<sub>2</sub>削減対策

1997 年 12 月、日本で気候変動枠組条約第 3 回締約国会議（COP3）が開催され、京都議定書が採択され、温暖化防止に取り組む基本事項、国際的な枠組みが示された。京都議定書では、締結国に対して、2008 年～2012 年（第 1 約束期間）の温室効果ガス排出量を、基準年排出量（1990 年の温室効果ガス排出量）と比べて少なくとも平均 5%削減するように義務付けた。さらに、EU は-8%、日本は-6%というように、国別の排出削減目標を設定した。日本の 2004 年度の温室効果ガスの総排出量は 13 億 5,500 万トンであり、基準年の総排出量（12 億 6,100 万トン）を 7.4%上回っており、前年度と比べると 0.2%減少している（環境省 HP）。

また同議定書では、温室効果ガスの排出削減目標を達成するための一つの手段として、京都メカニズムと呼ばれる枠組みが盛り込まれた。京都メカニズムでは、共同実施、クリーン開発制度、排出量取引の 3 つの制度のことである。排出量取引とは、排出量削減目標を達成できない先進国 A（あるいは企業 A）が、排出削減目標以上に排出削減を達成した先進国 B（あるいは企業 B）から、余剰の他成分を排出削減ユニットとして購入することを可能とするシステムである（藤森 2004）。1996～97 年にかけて温室効果ガスの排出量取引市場が出現して以来、世界中の企業の間で少なくとも 60 回の取引が行われ、総量 5,500 万トンの排出量が取引された（取引価格は、1t 当たり 0.6～3.0 ドル）。温室効果ガスの排出取引市場は今後、ますます生長し、世界的な巨大市場に膨らむ可能性が高いという予測もある（木村・波多野 2005）しかし、排出量取引を行っているだけでは、実質的な CO<sub>2</sub> 排出量の削減にはつながらないため、共同実施や、クリーン開発制度を実施する必要がある。共同実施（JI）とは、先進国間で省エネプロジェクト等を共同実施して、当該プロジェクトから得られる温室効果ガスの追加的削減量の全部または一部をクレジットとして当事者間の合意に基づき移転する仕組みである。また、クリーン開発制度（CDM）とは、途上国において先進国が省エネプロジェクト等を実施し、当該プロジェクトから得られる温室効果ガスの追加削減量を第三者機関が認証してクレジットを発行し、その全部または一部を当事者間の合意によって移転する仕組みである。海外植林は CDM の中の代表的なものの一つであり、同じコストをかけるならば先進国の国内で植林するよりも、途上国でのほうが広い面積の植林が可能だという利点がある（藤森 2004）。

日本では、CO<sub>2</sub> 削減目標を達成するため、森林の CO<sub>2</sub> 固定機能が大きく期待されている。1997 年に採択された京都議定書において、森林などの陸上生態系による一定条件内の CO<sub>2</sub> 吸収量を排出削減量の中に加味してカウントできることが定められ、2001 年の COP 7 において、日本は管理された森林による吸収上限率 3.9%まで認められた（藤森 2004）。しかし、先にも述べたように、2004 年度におけるわが国の温室効果ガスの総排出量は、前年度

比で 0.2%減少しているものの、基準年と比較すると 7.4%も上回ってしまっている。すなわち、森林を保有しているだけでは実質的な CO<sub>2</sub> の削減にはほとんどつながっていないのである。

### CO<sub>2</sub> 吸収における森林生態系の役割

現在、CO<sub>2</sub> 削減対策として、省エネルギーや、化石燃料に変わる代替エネルギーの利用、開発などが進められている。しかし日本をはじめとする多くの国において、削減率という効果的な方法は、森林生態系による CO<sub>2</sub> 吸収である。

森林は赤道地域の熱帯多雨林から北の亜寒帯針葉樹林まで、地球上の陸地面積のほぼ 3 分の 1 を占め、生物量で見れば森林は陸上生態系全体の 90% を占めている。陸地を厚く覆う森林は、大気との間でエネルギーや運動量や質量の交換を活発に行っている。すなわち、太陽光をエネルギー源とする光合成活動で、大気から吸収した CO<sub>2</sub> を有機物として固定すると同時に、生命活動の維持や新たな組織の形成に不可欠な呼吸作用や、土壌有機物の無機化の過程である土壌呼吸を通して、CO<sub>2</sub> を大気に返している。森林は大気中における CO<sub>2</sub> と水と潜熱の循環系を駆動して、地球気候システムの形成にも少なからぬ役割を果たしている（及川 2000）。

森林は多量の有機物を材として蓄積している。熱帯林から北方針葉樹林まで、森林面積は陸地面積の約 3 分の 1 を占めているが、森林全体の現存量は炭素量で 743P（ペタ=10 の 15 乗）g であり、陸地全体の現存量 827Pg の約 90% を占めている。このことから、森林は非常に大きな炭素の蓄積源であるといえる。森林の中で、熱帯雨林の面積は陸地面積の 11% ほどに過ぎないが、現存量は 41% にも達している。一方、炭素量で表した熱帯雨林の NPP（純一次生産）は 15.3Pg/year<sup>-1</sup> であり、陸地全体の 32% を占めている。このように熱帯雨林地域で現存量も生物生産力も高いのは、この地域が年中高温で光条件や水条件にも恵まれている為に、年間を通じて生命活動が活発に営まれている結果と考えられている（及川 2000）。

日本の森林面積は約 2500 万 ha で、国土の 67% を占めている。その内訳は、人工林 41%、天然林 53%、無立木地 5%、竹林 1% となっている。また、木材蓄積量は約 35 億 m<sup>3</sup> で、全世界における蓄積量の 1%、全世界における 1 年間の消費量に相当する。この木材蓄積量のうち、人工林が 54% を占めている。森林面積はほぼ横ばいで推移しているが、木材蓄積量は 1990～1995 年の 5 年間で約 3 億 5,000 万 m<sup>3</sup> 増加している。1,000 万 ha を超える人工林の大半は針葉樹で、面積ではスギが 44%、ヒノキ 24%、カラマツ 10%、マツ類 10%、蓄積ではスギが 58%、ヒノキ 21%、カラマツ 9%、マツ類 8% となっている。齢級別面積で見ると、人工林面積の約 7 割が 35 年生以下で育成途上にある（藤森 2004；2006）。

地球規模での炭素循環の詳細は必ずしも十分に理解されてはいないが、陸上生態系はその大気中の約 3 倍に相当する 2 兆 500 億トンの炭素を貯留し、このうち 62%が陸地面積の約 30%を占めるに過ぎない森林に貯留されている。更に、そのうち 60%強は土壤中に存在すると考えられているので、地球上の陸上生態系に貯留される炭素の 40%弱が森林土壤中に存在している計算になる。このように、地球上の炭素プールとして極めて重要な位置を占める森林土壤中の有機物であるが、一方でこれらは不安定であり、様々な人間活動によって変化し、例えば森林を皆伐して農地開発を行えば土壌有機物は無機化されて大気中に放出される。1980 年代中盤の推定によれば、地球上で農地開発に伴い放出された炭素量は、年間正味  $0.85\text{Gt C} \cdot \text{yr}^{-1}$  であり、化石燃料起源の炭素放出量の 15%に達し、今世紀末までにはさらに増加することが予想されている。しかし耕作放棄地や鉱山跡地などに森林が再生すれば、土壌炭素貯留量もかなり急速に回復することが知られており、年間の炭素蓄積速度は  $200\sim 500\text{kg ha}^{-1}$  に達する（藤森 2000）。

このように、森林生態系の有する  $\text{CO}_2$  固定能力は非常に大きい。特に、国土の三分の二を森林が占めている日本にとって、森林生態系の持つこの能力は  $\text{CO}_2$  削減に大きな効果を発揮する存在であると考えられる。 $\text{CO}_2$  固定能力以外にも、生物多様性の保全など多様な機能を有していることから、森林生態系は重要な資源であるといえる。中でもブナ林は日本を代表する森林であることから、その“資源”としての価値を重視せざるをえないと考えられる。

### ブナ林の成立過程と分布要因

ブナは、日本固有の樹種で、北海道南部の黒松内から鹿児島県高隅山まで分布し、冷温帯で優先林を形成する。ブナ林は、日本の代表的な自然林で、水源涵養機能や野生生物の生息地として広く重要性が認められている。ブナ林は、その面積が日本の自然林総面積の 17%にあたる  $23,000\text{km}^2$  もある（中村 2010）。周知のようにブナ林は、戦後間もない頃には用材にならない、役に立たないとされて、スギなどの拡大造林のために全国各地で大規模伐採された。俗に“全国ブナ退治”などと称されたこのような林野庁の愚策を生き残ったブナ林のなかには、知床半島や白神山地のように、水源涵養機能や野生生物の生息地としての重要性が再認識されるきっかけとなった、原生林あるいはこれに極めて近い状態に残る森林も多い（原 1996）。

ブナとナラ類（主としてコナラ、ミズナラ）はともにブナ科の樹木であるが、その萌芽や繁殖戦略はかなり違っている。ともに、比較的大きな種子（どんぐり）をもつが、ブナのほうが、暗い所で生き残る性質がより強い。逆に、ナラ類のほうがより小さいサイズで種子生産を開始するし、より大きなサイズになるまで萌芽する性質が強い。ナラ類のこうした生活史特性は、ブナよりも攪乱に適応した種であることを示す。大きな攪乱を受けた場

所では、定着スペースが他の樹木によって占有される前に、できるだけ早く種子生産を開始することが有利となる。また、萌芽は山火事のような地上部を破壊する撓乱の後に、素早く回復する戦略としても有利である。

ブナ (*Fagus crenata*) の生物学的・地理的位置を確認してみる。ブナの属するブナ科 (Fagaceae)、ブナ属 (*Fagus*) は種数こそ少ないものの、世界の様々な地域において自然林の優占種となることが多く、このため生態系にとってはきわめて重要な種であることが多い。また、主な分布域が北半球の温帯域にあるため、昔から様々な形で人間と関わりのあった属である (原 1996)。

ブナ科 (Fagaceae) は世界に 8 属 700 種以上が知られ、世界の熱帯から温帯にかけて広く分布している。日本には 5 属 22 種が分布する。ブナのほか、カシやコナラ、クリ、シイなど、日本の低地里山林を形成する馴染み深い多くの植物が含まれる。

ブナ科には、低木性の種も少数みられるが、大部分の種は樹高 20m 以上の高木になり、多くの場所で森林の主要な優先種となっている。ブナ科やナラ林のほか、シイ林やカシ林、すなわち照葉樹林の多くもブナ科の優占する林である。熱帯の山地から暖帯、温帯にかけての自然林の大部分は、ブナ科の林といってもよいほどである。バイオマスとしても、針葉樹を除き、科としては世界中で最大量を示すものの一つといえる。

ブナ科の植物の生態的な特徴の一つは、外生根菌を作り、菌類と共生関係にあることである。ブナ科の植物がこれほど地球上の広範囲に広がり、量的にも多くを占めている理由として、菌類と共生関係を作ることによって栄養分の効率よい取り込みが可能になっているとも推察されている (原 1996)。

ブナ属 (*Fagus*) は北半球の暖帯から温帯にかけて約 11 種が分布する。11 種という種数はブナ科の中では中程度のものである。ブナ属は北アメリカ大陸 (2 種) と東アジア (7 種)、ヨーロッパ (2 種) にわかれて分布する。比較的広域に分布するのはアメリカブナとヨーロッパブナの 2 種だけで、他の種は日本のブナも含めてどれも比較的小さな分布域にあり、隔離的な分布を示す (原 1996)。

日本に分布するブナ属は、ブナ (*Fagus crenata*) とイヌブナ (*Fagus japonica*) の 2 種である。ブナは鹿児島県以北、北海道南部の黒松内低地以南にかけてほぼ全国的に分布する。イヌブナは宮城県以北、岩手県までの主に太平洋側の各県を中心に分布する。イヌブナは中国地方から岐阜県にかけては、本州脊梁の山地を超えて日本海側にまで分布しているが、石川県以北の日本海側には分布しない。分布高度にも違いがあり、ブナがより高地に、イヌブナがより低地に分布する。ただし、完全に住み分けているのではなく、中間の標高域では、両者の分布域はかなり重複する (原 1996)。

ブナとイヌブナは個体の再生、補充様式の面で大きな違いがある。ブナは自然状態では通常一本の直立した幹しかもたず、枯死した個体の補充は主として実生の生長による。伐

採すれば萌芽を出して再生することもあるが、自然状態ではほとんど萌芽しない。これに対してイヌブナは、自然状態でも盛んに萌芽し、萌芽由来の幹による再生を行う。すなわちイヌブナは、株の中の大きな幹が枯死すると、同じ株の中の小さな幹が生長して、枯れた幹の枝や葉が占めていた空間を埋めるのが普通である。ブナの寿命は平均して 200 年程度、イヌブナは幹がブナよりも腐朽しやすいため、これよりは短いと考えられるが、旺盛な萌芽再生能力によって、時には 1000 年近くの間、1 カ所に生育し続けることができると考えられる（原 1996）。

また、太平洋側のブナと日本海側のブナは樹形も異なっている。日本海側のブナは、根曲がりといって地表付近の幹が斜面下向きに曲がっているのが特徴である。稚樹や若木の頃に、毎年雪に倒されながら生長してきた証拠である。幹の上部は、逆に比較的すらっと長く伸びた、端正な樹形を示すことが多い。これに対し、太平洋側のブナには根曲がりはあまりみられない。山頂付近など、風当たりのつよい場所に生育することが多いため、幹も全体にごつごつとして、ずんぐりとした樹形を示すことが多いのも特徴である。日本海側のブナに比べ、幹の太さは同じでも、より大きな樹幹を持つことが知られている（原 1996）。

日本のブナ林は北海道南部の黒松内低地以南、本州、四国、九州に広く分布する。南限は鹿児島県大隅半島の高隈山である。今日ではブナ林の分布は断片的なものとなっているが、かつて人間による伐採その他の開発が行われる以前は、日本列島の山地の中腹を広く覆っていたと考えられる（原 1996）。

ブナの分布域を生育温度条件から見ると、暖かさの指数ではほぼ摂氏 45～85℃の範囲内にあることが知られている。降水量については、ブナ属は気温の年較差が小さく湿潤な、海洋的な気候下に分布する植物と言われている。降水量に関係し、日本のブナ林に様々な面で強い影響を与えているのが雪である。雪は物理的な圧力として植物を押さえつけ、あるいは破壊するという意味では植物にとってマイナスであるが、冬期の保温効果や、冬から春にかけての乾燥が避けられるという点では、むしろプラスに作用する。日本のブナ林の分布域は日本海側と太平洋側両地域に及んでいるので、雪の有無によって、両地域のブナ林は種組成や構造、動態などの面で様々な違いがあるとされる（原 1996）。

太平洋側と日本海側では、ブナ林の分布域の上限と下限について、温度環境の面でずれがある。その結果、太平洋側のブナ林が垂直的には 1,000m、あるいはそれ以下の高度分布幅しか持たないのに対し、日本海側のブナ林は 1,200～1,400m に及ぶ幅広い高度分布域を持つ。原因については、積雪量や、冬から春先にかけての空中及び土中の湿度など気候環境の違いが関与していると考えられる。しかし、太平洋側と日本海側のブナ林自体の性質の違いや、両地域の経てきた地史的な時間スケールでの植生変遷史の違い、またブナ林の下方及び上方を占める森林との競争関係なども考慮する必要があると考えられる（原

1996；寺澤・小山 2008)。

イヌブナは九州から四国、中国、近畿、中部地方以北の太平洋側に分布する。北限は岩手県北部の一戸町付近である。イヌブナ林におけるイヌブナは、ブナ林におけるブナのように単独で優占林をつくることは少なく、他の高木種と混交するのが普通である。イヌブナの出現する地帯は中間温帯といわれ、ブナ以外の夏緑広葉樹すなわちイヌブナ、シデ類、コナラなど、様々な落葉樹が優占する植生帯として知られている。モミやツガが分布するのも主にこのゾーンである。イヌブナはコナラなどに比べると、伐採された際の萌芽能力は劣ると考えられ、度重なる伐採を受けた場合は、林から消失してしまう可能性が高いと考えられる。東日本の太平洋側では、残存するイヌブナ優占林の分布は、断片的ながらも暖温帯から冷温帯の広い範囲に及んでいる。人為的な破壊が進行する以前は、太平洋側の丘陵地から山地下部にかけて、更に広い面積を占めていたと推定されている（原 1996）。

第3紀から第4紀にかけての種の変遷の結果、中期更新世の30万年前以降、日本列島にみられるブナ属の樹木は現在と同様に、ブナとイヌブナだけになったとされる。ブナはイヌブナに比べて、より寒冷な地域でも優占林をつくる。一方、イヌブナは現在でもブナ帯の中心部には入り込めず、太平洋側を中心として海拔のやや低いところに分布する。また、その北限もブナよりずっと南である。2万年前頃は、最終氷期野中でも最も寒い時代と考えられている。地球上の水が氷河として地上に大量に蓄えられて海の水が少なくなったため、海岸線は後退し、当時の海岸線は現在では沖合の推進100m以上の海の中にある。そのため、当時の海岸線付近の植生を直接示す資料は得られていないが、他の場所で推定された気温低下量や、下内のブナの生育条件などから考えて、ブナは北緯37度以南の海沿いの地域に他の温帯性の落葉広葉樹や針葉樹と共に避難していたと考えられる。実際の花粉分析によると、西日本でもこの時代のブナ属の花粉の出現率は極めて低く、ブナが優占する林は日本列島からほぼ完全に姿を消し、ブナは西日本の海沿いの地域に細々と生き残っていたようである（原 1996；寺澤・小山 2008）。

その後、1万2000年から1万年前にかけて、中国地方から東北地方南部にかけての広い範囲で、低地を中心としてブナ属の森林がほぼ一斉に増え始めたとされる。これは、最も厳しい寒冷期が終わり、気温が温暖化し始めたことによる。1万年前までには山陰や東北地方南部の低地にブナ林が成立した。高度的にも中部地方では現在と同じ高さに達した。更に、1万年前以降の急激な気温上昇にともなって、ブナ林の分布域の拡大が続き、9,000年前には本州最北端の津軽・下北両半島に達し、8,000年前から4,200年前までには、津軽海峡を渡り、渡島半島に達した。一方、6,000年前以降の本州南西部の地層では、発見されるブナ属花粉は減少していることから、これ以降は照葉樹林の拡大に伴って、特に低地では実質的にブナ林が消滅したと考えられる。その結果、ブナ林の潜在的な分布は現在とほぼ同じになったと考えられる。ただし、6,000年前の時代は現在より暖かかったため、

中部山岳などではブナ林は今の分布高度より 400mほど高い、現在の亜高山帯にまで達していたと考えられている（原 1996；寺澤・小山 2008）。

現在の気候条件のもとでは、ブナ林や常緑樹林の代償植生として考えられることの多いナラ林は、二万三千年前の寒冷かつ乾燥した環境のもとでは、極相の自然林として広く存在したはずである。朝鮮半島には、「極相としてのナラ林」が現在でも明確に位置づけられている。（湯本 2011）

最近の研究によると、遅くとも 5,300 年前までに渡島半島に上陸したブナは、半島南部では 4,000 年前から増え始め、1,500 年前までにブナ優占林を形成した。しかし、ここからの移動は急にゆっくりになり始め、半島中部や、黒松内低地帯の太平洋側の静狩に達したのは、ようやく 900～800 年前であった。現在の分布北限である黒松内低地帯へのブナの到着は、かなり新しいもののようである（原 1996；寺澤・小山 2008）。

南関東の低地では、ブナ属の花粉は約 1 万年前以降の完新世の地層を通じて検出されるが、量が少なく、近くにブナ優占林は無かったものと考えられる。千葉県野田市から得られた約 2 万年前の試料においては、ブナ属の花粉は検出されているものの量はわずかである。東北地方の太平洋側では遅くとも 5,000 年前までには、福岡県の中中部から岩手県南部の海岸沿いにも、イヌブナやブナの林が成立していたことが知られている。しかし、これらの地域でも、日本海側と比べてブナ属の出現率は低い。これら太平洋側のブナ属が脊梁山脈を越えてきたのか、太平洋沿岸を北上あるいは南下してきたのかなど、いつどのような経路で進出してきたのかは明らかになっていない（原 1996；寺澤・小山 2008）。

ブナ林では、通常の豊作年で  $1\text{m}^3$  当たり 100 個前後、大豊作の年には数百から 1,000 個程度の果実が落下する。これに対し、凶作年には全く結実しないか、結実しても  $1\text{m}^2$  当たり 10 個程度しか落下しない（原 1996；寺澤・小山 2008）。

林床に落下した果実のうち、動物に食べられたり菌類に侵されて腐ったりしなかったものは、しばらくの間は休眠状態にあるが、冬から早春にかけて発芽し、根を出す。発芽に関しては、適温が摂氏  $0^{\circ}\text{C}$  から  $10^{\circ}\text{C}$  と非常に低い範囲にあることが知られている。厚く積もった雪の直下の温度は、ほぼ摂氏  $0^{\circ}\text{C}$  に保たれている。つまり、ブナは雪に埋もれた状態でも発芽することができる。逆に、摂氏  $15^{\circ}\text{C}$  以上では、根の生長が上手く進まないという。また、雪は乾燥を防ぐという点からも役立っていると考えられる。このように、ブナは発芽特性の面からみても、冷涼な気温と積雪という環境条件にうまく適応した種であると言える。ブナの結実には周期性があり、平均すると、豊作の年が約 2 年に 1 回、大豊作の年が 5～7 年に 1 回訪れる。豊作年の翌春には、新しい実生が多数発生する。従って、実生の寿命が 5～6 年しか無いとしても、林床には常時、2 回から 3 回の豊作年の翌年に芽生えた実生が存在していることになる（原 1996；寺澤・小山 2008）。

死亡率の高い稚樹期を生き延びて、次第に大きく生長したブナは、やがて林冠へと達す

る。大きく生長した樹木のそれまでの生長経過は、その年輪を調べることによってわかる。ブナの生長経過は1本1本、多少異なっているが、平均すると100年ほどで高さ15～20mになり、林冠を構成する用になることが多いようである。ブナが生長のピークを迎える時期は、樹高で80～100年、直径で110～130年前後にあり、温帯生の落葉広葉樹としてはゆっくりとした生長経過をたどる種だといえる。樹高は最大で35m前後、直径は150cm以上に達することが知られている（原 1996）。

豊作年における個体のサイズと結実の有無との関係を調べてみると、直径が20cmくらいになると結実する個体がみられるようになり、30cm前後ではほとんどの個体が結実するようである。直径が20～30cmということは、樹高でいうとほぼ15～20mに相当し、これは林冠部の高さに等しい。すなわち、ブナはちょうど林冠に達したあたりから結実するようになると考えられる。年齢に関しては、開花までに最低でも40～50年、結実するようになるのは最低でも60～80年という数字があげられている。しかし、自然の林でのブナの生長経過からみると、平均的な値は更に大きく、100年、あるいはそれ以上になると考えられている（原 1996）。

ブナの樹齢は、実測された樹齢としては450年ほどが最高のものである。平均値としてはずっと低く、林冠にまで達したブナで200年前後というところと考えられる。樹齢300年以上の個体は死亡するものが多くなるので、それより若い個体に比べて非常に数が少なくなり、1ha当たり数本程度ということが多い（原 1996）。

### 里山林としてのコナラ林の特徴

里山は日本を代表する景観の一つであるが、その定義は現在のところ統一されているわけではなく、複数提唱されている。犬井（2002）は「関東平野のような広大な平野では、里山は平地林からなる。山間地では人里に近い山林が里山である」とし、石井（2005）は「狭義には薪炭林あるいは農用林のことではあるが、広義には水田やため池、水路からなる稲作水系や畑地、果樹園などの農耕地、採草地、集落、社寺林や屋敷林、植林地などの農村の景観全体、都市周辺の残存林などを含めることも多い」としている。また大住（2000）は「日常生活及び自給的な農業や伝統的な産業のため、地域住民が入り込み、資源として利用し攪乱することで維持されてきた、森林を中心にした景観」としている。いずれにしても人間の生活域と自然が、農林水産業を介して、境界で接しつつお互いが影響しあって成立している地域と言えそうである。

里山では長年、主として農業が営まれ、農民は水田、畑地、ため池、二次林、草地を形成して持続的に利用してきた。農山村に住む人々にとっては、生活や生産活動を支える物資の供給源でもあり、生活に密着した存在であった。山菜や、キノコ、木の実の採集を始め（吉武 2000）、日常生活に必要な薪炭材、農作物に必要な堆肥や厩肥の材料となる落葉、

落枝、下草、あるいは家畜の餌となる下草を里山に依存していた。里山は農山村の人々の生活とは切っても切れない強い結びつきがあったのである（堀 2000）。

コナラ林は、一般に 10～30 年に一回という短い間隔で繰り返し伐採され、その後の萌芽により維持されてきた（大住 2011）。過去、萌芽更新が広く行われてきたのは、種子からの芽生えを期待する下種更新や植栽に比べて、木質資源の生産や利用上の利点があったからである。伐採しても、切り株から何本もの茎が生え再び生長するコナラ林は、薪や炭の材料を採るうえで、「萌芽生」はとてもありがたい性質である。切り株は根がしっかり張っているのも、萌芽した櫛のうち 1～数本を残して他を除けば、実生（種からの芽生え）に比べてずっと速く生長し、10 年程度で再び利用できるようになる。薪や炭を得るために定期的に伐採される薪炭林は、そのような萌芽生を持つコナラ、ミズナラ、クヌギなどドングリを实らせる落葉樹を主体とするものである。これらの林は、季節ごとに落ち葉や下草が採集され、堆肥などとして利用される農用林でもあった（鷲谷 2011）。

### 日本の森林の CO<sub>2</sub> 固定機能に関する研究の課題

日本でも、CO<sub>2</sub> 削減目標を達成するため、森林の CO<sub>2</sub> 吸収・固定機能が大きく期待されている。しかし、森林による CO<sub>2</sub> 吸収・固定量を測定する研究には困難が多く、それほど進展していない。なぜなら、森林生態系ごとに CO<sub>2</sub> 収支および収支に対する生物的、物理化学的環境条件の諸影響が異なるため、信頼度の高い情報を取りまとめることが難しいからである。森林生態系を、実効性のある CO<sub>2</sub> 吸収・固定元として位置づけるためには、様々な森林生態系の CO<sub>2</sub> 収支と、それに対する環境要因の影響に関する研究が必要である。これらのためには、まずは古典的な手法である毎木調査によって、各森林の樹木の種別とサイズを測定し、そこから各樹木の現存量を推定しなくてはならない。そしてこうした調査を複数回、少なくとも一生育期間～複数年の間隔をおいて行うことによって、現存量の増減を明らかにし、森林の純一次生産量(NPP)を推定しなくてはならない。森林生態学の分野においては、こうした長期継続的な研究が全国各地の様々な森林で行われている（西村・真鍋 2006）。しかしながら群馬県内の森林においてはこうした研究はほとんど行われておらず、わずかに玉原高原ブナ林で行われたモスレムら（1996）の一連の研究や、町田（2005）の研究があるのみである。

### 群馬県と沼田市の CO<sub>2</sub> 削減にむけた取り組みの概要

このような絶対的な研究不足のなかにおいても、群馬県、特に沼田市は、独自の CO<sub>2</sub> 削減対策として、森林による CO<sub>2</sub> 吸収・固定量を算定・活用しようとしている。

群馬県の森林面積は 424,000ha、県土全体に占める割合は 67%で、森林面積、森林率とも関東地方では一番となっている。その群馬県では、2011 年度から 2020 年度までの 10 か

年計画を立て、CO<sub>2</sub>を始めとする温室効果ガスの削減目標を掲げている（群馬県 2011）。その中で、森林による CO<sub>2</sub>吸収量について、京都議定書第一約束期間終了年度である 2012 年度における吸収目標量 1,174 千 t（2007 年度の温室効果ガス排出量の 5.8%に相当）を維持するとしている。森林吸収とその他の排出削減により、群馬県全体で 2007 年度比 28%の削減を目指すとしている（表 1）。

表 1. 群馬県地球温暖化対策実行計画（2011－2020）に示されている、2020 年度までの県内部門別 CO<sub>2</sub>削減目標。単位は千 t-CO<sub>2</sub>または%。

|                     |           | 2007 年度<br>実 績 | 2020 年度<br>(未対応での見込) | 2020 年度<br>(対策込み目標) | 削減率<br>(対 07 年度比) |
|---------------------|-----------|----------------|----------------------|---------------------|-------------------|
| CO <sub>2</sub> 排出量 |           | 17,655         | 17,675               | 14,324              | －19%              |
| 各<br>部<br>門         | エネルギー転換部門 | 5              | 5                    | 5                   | －7%               |
|                     | 産業部門      | 6,348          | 6,792                | 5,478               | －14%              |
|                     | 業務部門      | 2,860          | 2,830                | 2,129               | －26%              |
|                     | 家庭部門      | 2,762          | 2,780                | 2,044               | －26%              |
|                     | 運輸部門      | 5,079          | 4,677                | 4,176               | －18%              |
|                     | 廃棄物部門     | 436            | 424                  | 363                 | －17%              |
|                     | その他       | 166            | 166                  | 130                 | —                 |
| メタン                 |           | 363            | 330                  | 330                 | －9%               |
| 一酸化二窒素              |           | 677            | 664                  | 664                 | －2%               |
| HFC・PFC・六ふっ化硫黄      |           | 1,407          | 1,368                | 386                 | －73%              |
| 温室効果ガス排出量合計         |           | 20,102         | 20,037               | 15,704              | －22%              |
| <u>森林吸収量</u>        |           |                |                      | <u>－1,174</u>       |                   |
| 対策後排出量              |           |                |                      | 14,530              | －28%              |

上記の目標を達成するためには、間伐や下草刈り等によって、森林を適切に管理、保存しなければならない。しかし、林業の低迷などにより、手入れ不足の森林が増加している。

人工林を経営管理していけない森林所有者が増えている。したがって森林の所有権と管理権を分離し、地方自治体が森林所有者から管理の委託を受け、森林組合やNPOなどが実際の管理の委託を受けるといったシステムを作ることが急務となっている。（藤森 2003）

群馬県では、施策の方向として、林業の振興と適切な森林整備・保全により、森林整備を推進し、森林吸収量の確保に努めるとしている。具体的な施策として、森林の CO<sub>2</sub> 吸収量認証制度、オフセットクレジットの導入等により、森林を支える仕組みを構築するという。

オフセットクレジットとは、自らの CO<sub>2</sub> 排出量を排出量の削減と CO<sub>2</sub> 吸収量の確保で相

殺する「カーボンオフセット」の促進、及びこれを通じて国内における温室効果ガス排出削減・吸収活動により一層の推進を図るため、国内の排出削減・吸収活動により実現される一定の品質が確保された温室効果ガス排出削減・吸収量を、市場を流通する「オフセット・クレジット（J-VER）」として認証する制度である。VER は、Verified Emission Reduction の略である。

群馬県森林・林業基本計画（2011）によると、群馬県は、森林による CO<sub>2</sub> 吸収量認証件数が 2010 年の段階で 8 件であるのを、2020 年には 40 件に増やす数値目標を掲げている（表 2）。

表 2. 群馬県森林・林業基本計画（2011）に掲げられた数値目標

| 項 目                                 | 現状（2010） | 目標（2020）  | 備 考            |
|-------------------------------------|----------|-----------|----------------|
| 森林ボランティア団体会員数                       | 3,800    | 4,200     |                |
| 企業ボランティア協定締結数                       | 28       | 50        |                |
| 森林環境教育参加者数（県主催）（人/年）                | 2,200    | 2,500     |                |
| <u>森林による CO<sub>2</sub> 吸収量認証件数</u> | <u>8</u> | <u>40</u> | <u>10 年間累計</u> |
| 森林公園入場者数（万人/年）                      | 72       | 80        |                |

## 群馬県沼田市と東京都新宿区のカーボンオフセット協定

こうした動きの中、群馬県沼田市は東京都新宿区と「地球環境保全の連携に関する協定」を締結した。

新宿区では、2006 年 2 月に「新宿区省エネルギー環境指針」を策定し、平成 22 年度の CO<sub>2</sub> 排出量を、1990 年度と比べて 5%の増加に抑えることを目標としているが、2006 年度には 10.3%も増加し、2010 年度までに 13 万 t の削減が必要と、目標の達成は非常に厳しい状況にある。

また、2008 年 2 月には新宿区環境基本計画を改定した。地球温暖化対策・ヒートアイランド対策を強化し、区内の CO<sub>2</sub> 排出量削減に向けての取り組みを進めるとともに、区外の森林保全で増加した CO<sub>2</sub> 吸収量を区内の CO<sub>2</sub> 排出量から相殺するカーボンオフセットの仕組みづくりにも重点的に取り組んできた。

この協定は、新宿区が水源として恩恵を受ける利根川上流域に貴重な自然を有し、イベント等で交流のある沼田市と連携し、森林保全による CO<sub>2</sub> の吸収量増加とともに、自然体験学習の実施や住民相互の交流拡大を目的としており、相互協力について、森林整備の強化が必要な沼田市の合意を得た。2010 年度から、沼田市内の植林や下刈り等の整備事業を支援し、健全な森林の育成を促進することでカーボンオフセットを進めるほか、区立環境学習情報センターの地球温暖化対策事業の一環として、沼田市内に開設する「新宿の森 沼

田」を活用した植林、下刈り等の体験学習事業を実施している。以下が本協定の基本部分である。

#### 【目的】

1. 区が水源として恩恵を受ける利根川上流域に貴重な自然を有し、イベント等で交流もある沼田市と連携し、森林保全により CO<sub>2</sub> 吸収を促進
2. 自然体験学習の実施や住民相互の交流拡大

#### 【協定】

平成 22 年 3 月 6 日新宿区と沼田市は、地球環境保全の連携に関する協定締結。

平成 23 年 5 月 9 日新宿区、沼田市及び土地所有者の（社）高平公益社は、「新宿の森・沼田」の森林整備実施に関する協定を締結。

#### 【事業経費】

平成 22 年度～31 年度 約 4,000 万円（造林補助金約 1,200 万）

→平成 22 年度見込み 約 670 万円

#### 【事業概要】

所在地 沼田市白沢町高平字箕平 1869 番 1 他

所有者 社団法人 高平公益社（私有林）

協定面積 17.20 h a

現況 ゴルフ場跡地、芝育成跡他

借用期間 平成 22 年 5 月 9 日～平成 32 年 3 月 31 日

吸収量 年約 70 t の CO<sub>2</sub> を吸収 期間中累計 700 t -CO<sub>2</sub>

#### 【スケジュール】

平成 22 年 5 月 9 日 オープニングイベント、第 1 期分植林（図 1）

平成 23 年度 第 2 期分植林、下草刈り

平成 24 年度 第 3 期分植林、下草刈り

平成 25 年度～31 年度 下草刈り等による森林育成



図 1 群馬県沼田市と東京都新宿区のカーボンオフセット協定による植林計画地（沼田市白沢町地内）

具体的な取り組みとしては、沼田市白沢町のゴルフ場跡地に約 4,000 本のコナラを植栽し、下刈りも実施した（写真 1、2）。コナラは、水源の涵養や土砂崩れの防止などに適した広葉樹で、用途も幅広い。場所は、かつてはゴルフコースや芝の養成地だった土地で、広さは約 17ha になる。3 年間でコナラなどを植え、2020 年まで毎年、下刈りや間伐、枝打ちを行い、森林の再生を図る。効果としては、年約 70 t の  $\text{CO}_2$  が吸収・固定される見込みであるという。2010 年 9 月 16 日、沼田市は「森林  $\text{CO}_2$  吸収量認定書」を群馬県から授与され、17.20ha における植栽及び下刈りによる森林整備を 10 年間続けることによって、総計で 700 トンの  $\text{CO}_2$  吸収・固定量に値すると認証された。

しかしながら、本協定の基幹である“年約 70 t の  $\text{CO}_2$  吸収”の部分が果たして実現可能なかどうか、現地を見ると懐疑的にならずにいられない。植栽されたのは全て樹高 70cm 内外のコナラの稚樹であり、これらが約 2m 間隔で植栽されている。これが 10 年間の間に生長して総計で 700 トン  $\text{CO}_2$  吸収・固定するのならば、沼田市内に残る広大なブナ林は、こ

の間にどれだけの CO<sub>2</sub> 吸収・固定を行うのだろうか。



(写真 1) 沼田市白沢町に設置された新宿の森。コナラが植林されている。



(写真 2) 新宿の森の全景。下草刈りが行われている。

## 本研究の目的

森林による CO<sub>2</sub> 吸収・固定は、CO<sub>2</sub> 削減に大きな効果を発揮する。群馬県は関東地方でも最大級の森林面積を有するが、林業低迷により、手入れ不足の森林が増加し、またかつてのリゾート開発によって破壊されたあげくに、リゾートの廃墟と化して放置されるケースが増えているのも事実である。こうした状況の下、森林率 67%と群馬県内でも森林面積の広い沼田市において、カーボンオフセットの事業が始まったことは注目に値する。この事業には、約 2,800 万円の予算を執行する予定だが、費用対効果の面から考えると、沼田市内に残る広大なブナ林を活用することは考えられないのだろうか。また単なる CO<sub>2</sub> 吸収としてだけではなく、森林生態系の多様な機能発揮も地球温暖化対策には不可欠であるため、ブナ林のような自然林の保全のためには、その根拠の一つとなる CO<sub>2</sub> 吸収・固定能力の解明は不可欠であると考えられる。

そこで本研究では、沼田市内のブナ林の有する CO<sub>2</sub> 吸収・固定能力を解明することを目的として、毎木調査によってその現存量を推定するという実測調査を行った。この結果を基にして、沼田市内のブナ林の有する CO<sub>2</sub> 吸収・固定能力を明らかにし、また上記のようなカーボンオフセット事業への活用の可能性を考察した。

## 調査地概要

### 玉原高原ブナ林

沼田市玉原高原（地図 1）は、武尊山（2,158m）の西山麓に広がる標高 1,150～1,600m、面積約 900ha の溶岩台地であり、武尊山の後期の火山活動で溶岩が流出してできた層が、あまり侵食を受けずに取り残された地域と考えられる。東に鹿俣山（1,637m）、北にブナ平（1,300m）、西に尼ヶ禿山（1,466m）と三方を山と尾根に囲まれ、南だけが大きく開いている。玉原高原から南は急角度に高度を下げ、池田地区から沼田段丘地へと続く。

地理的には太平洋側に位置しているが、気候は日本海側気候区に属している。年平均気温約 9℃、最高気温 25℃（7 月）、最低気温 -9℃（1 月）。年降水量 1545mm。積雪 3m 内外、初雪 11 月 20 日、終雪 4 月 20 日、根雪日数 110 日。土壌は平尾根や緩斜地は褐色森林土、沢沿いは湿性褐色森林土である（宮前 2000）。

玉原高原に生育する高等植物の種類は、変種、品種を含めて 102 科 600 種に達する。内訳はシダ植物が 8%、種子植物が 92%で生活型では木本が 31%、草本が 69%となる。その中に多数の日本固有種、とくに日本海要素の植物が見られるのが特徴的である（宮前 2000）。



地図 1. 沼田市玉原高原の位置

大部分は日本海側型のブナ林で覆われ、その間にスギ、ヒノキ、カラマツの人工林が介在する。一部のヒノキ林にはダケカンバが侵入し、外観がダケカンバ林のようになっている所もある。鹿俣山や尼ヶ禿山の上部には、小規模ながら亜高山性の風衝地低木群落のミ

ヤマナラ低木林も見られる。北西部には大小 5 つの湿原があり、低層湿原から高層湿原までの植生が混ざり、複雑な群落を形成している。湿原や十二沢の泥湿地にはミズバショウが群生する（宮前 2000）。

玉原高原ブナ林には、様々な伐採圧を受けた林分があるが、大部分は少なくとも数百年間、人為的あるいは自然の強度な森林破壊・崩壊に見舞われない状態で維持されていて、ブナの天然更新が随所で進行中であると考えられている（モスレムら 1993）。今回の調査地であるブナ平は、どちらかという成熟した林分であるとされている（モスレムら 1993）。

## 調査・研究方法

### 毎木調査

玉原高原ブナ平のブナ林（地図 2、写真 3）において 50×50m の正方形区（0.25ha）の調査プロットを設定し、この中の幹周りが 15cm 以上の全成木の種目と位置、樹高、胸高直径（DBH, Diameter at Breast Height）を測定し、調査樹木にナンバーを貼り付け、個体を識別した。DBH は巻尺を用いて測定した。樹高は測棒と測高器（ブルーメライス）を用いて測定した。抽出測定した樹木の本数は、合計 75 本（ブナ成木 47 本、テツカエデ 16 本、コミネカエデ 6 本、トチノキ 5 本、コシアブラ 1 本）となった（後述）。

調査プロット内に 10m 間隔でスズランテープを張り、これを目印にして巻き尺を用いて各調査木の位置座標を記録した。このデータを基に樹木位置図を作図した。

2011 年 6 月 3 日に調査区を設置し樹高と DBH を計測し（写真 4）、同年 8 月 11 日に各調査木の位置座標を記録、同年 10 月 20 日に再度 DBH を計測し、得られた結果から、樹木現存量、年間の成木生長および純一次生産量の推定を行った。

なお本調査にあたっては、事前に利根沼田森林管理署より「国有林野入林許可」22 利管第 1171 号を取得して行った。



地図 2. 玉原高原ブナ平  
における調査地の位置

## 樹木現存量の推定

樹木の現存量を実測した研究例は、多大な労力と環境破壊力のため、非常に限られている。本研究でも実測は行わず、毎木調査の結果から、植物の相対生長関係を前提として、計算によって推定することとした。推定には、只木ら（1969）が植栽ブナを用いて実測した結果に基づいて作成した相対生長の回帰式を用いた（表 3）。この際、P3、P4、P6 の 3 植林地で実測されたが、本研究ではこれらの  $h$ 、 $k$  の平均値を計算に用いた。

まず回帰式 1) に、本研究で測定した DBH と樹高を用いて  $D^2H$  を計算して入れ、各樹木の幹重量（WS）を推定した。次にこの WS の推定値を回帰式 2) ～4) に入れて、それぞれ枝（WB）、葉（WL）および根（WR）の現存量を推定した。これらを合計した値を各樹木の個体

重量（現存量）とした（式 5）。



写真 3. 玉原高原ブナ平のブナ林  
(2011. 6. 3. 撮影)。



写真 4. 玉原高原ブナ平のブナ林  
での毎木調査 (2011. 6. 3. 撮影)。

表 3. 只木ら（1969）が実測に基づいて作成した、ブナの相対性生長関係の回帰式。  
 $\log Y = h \log X + k$ ,  $Y = 10^{(h \log X + k)}$  という相対生長式で表される。P3、P4、P6 の 3 植林地で実測された。D: DBH cm, H: tree height m (樹高), WS: stem weight kg (幹重量), WB: branch weight kg (枝重), WL: leaf weight kg (葉重), WR: weight of below ground part kg (根重量) を示す。重量は乾燥重量。

| X                | Y  | P3（新潟県松之山町） |         | P4（新潟県津南町） |         | P6（新潟県津南町） |         |
|------------------|----|-------------|---------|------------|---------|------------|---------|
|                  |    | h           | k       | h          | k       | h          | k       |
| D <sup>2</sup> H | WS | 0.924       | 1.4176  | 0.996      | 1.3443  | 0.968      | 1.3734  |
| WS               | WB | 1.29        | -1.2418 | 1.452      | -1.5154 | 1.532      | -1.8915 |
| WS               | WL | 1.144       | -1.7949 | 1.242      | -2.0456 | 1.149      | -1.9431 |
| WS               | WR | 0.837       | -0.2124 | 0.933      | -0.325  | 0.838      | -0.2676 |

幹重量 (WS)  $= 10^{(0.942667 \times \log D^2 H + 1.37843)} / 1000 \dots \dots \dots 1)$

枝重量 (WB)  $= 10^{(1.424666 \times \log WS - 1.549566)} \dots \dots \dots 2)$

葉重量 (WL)  $= 10^{(1.178333 \times \log WS - 1.927866)} \dots \dots \dots 3)$

根重量 (WR)  $= 10^{(0.869333 \times \log WS - 0.268333)} \dots \dots \dots 4)$

個体重量 (現存量, WT)  $= WS + WB + WL + WR \dots \dots \dots 5)$

### 成木生長量と純一次生産量の算定

つみあげ法は労力はかかるが現在のところ最も確実な推定法といえる。(依田 1971) 2011 年 10 月の毎木調査から推定された個体重量 (WT10) から、2011 年 6 月の毎木調査から推定された個体重量 (WT6) を差し引き、残が正值となった場合、これを年間の成木生長量とした。なお、残が負値となった場合は、便宜上成木生長量をゼロとみなした。

成木生長量を全て合計し、これに 6 月の葉量の推定値の合計を足した値を、純一次生産量 (Net Primary Production, NPP,  $t \text{ ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$ ) とした。落葉広葉樹であるブナは毎年全ての葉を生産・落葉するため、このような計算となる (式 6)。

$$NPP = \sum ((WT10) - (WT6)) + \sum (WL) \dots \dots \dots 6)$$

## 結果及び考察

### 玉原高原ブナ平の調査区内の樹木の空間分布

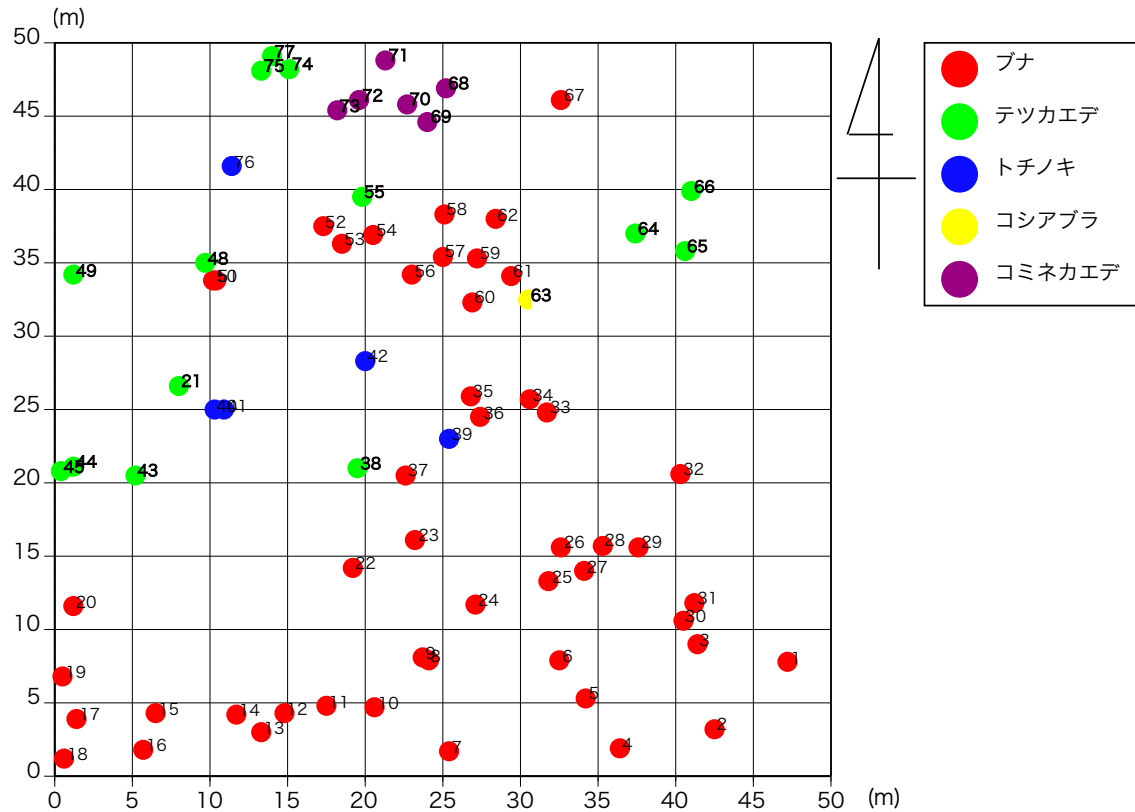


図2 玉原高原ブナ平の調査区内の樹木位置図。群馬県沼田市玉原高原ブナ平において0.25ha（50m×50m）の調査プロットを設置し、幹周りが15cm以上の成木について位置を計測した。計測日は2011年8月11日であった。

0.25haの調査プロット内において、ブナ成木47本、テツカエデ16本、コミネカエデ6本、トチノキ5本、コシアブラ1本、合計75本の生育が確認された（図2）。ブナ成木の立木密度は188（本 ha<sup>-1</sup>）、全ての成木を合わせた1haあたりの立木密度は300（本 ha<sup>-1</sup>）となった。また調査プロットおよびその周辺には、10m×10m程度の林冠ギャップ（成木のない空間）が所々で見られた。

本調査プロットにおけるブナの立木密度は、過去の研究例に比べると平均的な位置となった。すなわち、町田（2005）が玉原高原のラベンダーパーク横で計測した値は327（本 ha<sup>-1</sup>）、モスレムら（1993）が玉原高原ブナ平のブナ優占区で計測した値は96～244（本 ha<sup>-1</sup>）であり、また日本海型ブナ林では、ブナ林冠木（成木と同義）の密度は165（本 ha<sup>-1</sup>）程度である（島野・沖津 1994）と報告されている。以上より、本調査プロットはブナ林の平均

的な状態を反映しているといえることから、得られた結果を今後、周辺のブナ林にも適用可能なモデルケースとして位置づけることができると考えられる。

### 各樹種の樹高・DBH の頻度分布

#### ブナ

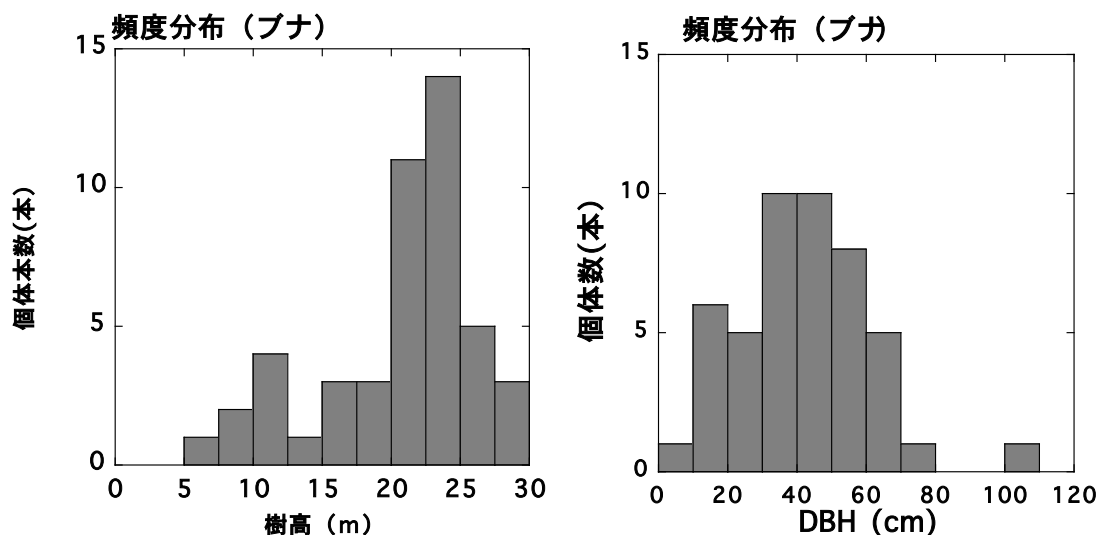


図 3. ブナの樹高 (左)、DBH (右) の頻度分布。群馬県沼田市玉原高原ブナ平において 0.25ha (50m×50m) の調査プロットを設置し、幹周りが 15cm 以上の成木について樹高と DBH を計測した。計測日は 2011 年 6 月 3 日であった。

ブナ成木は樹高 20～25m、DBH30～60cm の階級に位置する個体数が最も多いが、樹高 15m 以下、DBH20cm 以下の若い個体も 2 割程度存在し、また樹高 25m 以上、DBH70cm 以上の老齢個体も数は少ないが存在した (図 3)。

本調査プロット内においてブナ成木は、安定的なサイズ構成となっているといえる。モスレムら (1993) が玉原高原ブナ平のブナ優占区で得た結果も、同様にブナ成木が安定的なサイズ構成をとっていることを示している。すなわち玉原高原ブナ平のブナ林は、これまで長期にわたって、伐採や土地の破壊などの人為的影響を受けることが比較的少なかったと考えられ、また今後も、人為的影響が少なければ、長期にわたって安定的に自律的に維持されていくものと推察される。長期的に安定な森林は、長期的に  $\text{CO}_2$  を吸収・固定し続けることが可能であると考えられるので、玉原高原ブナ平のブナ林は  $\text{CO}_2$  の吸収源として、極めて重要な位置にあるといえる。

## その他樹種

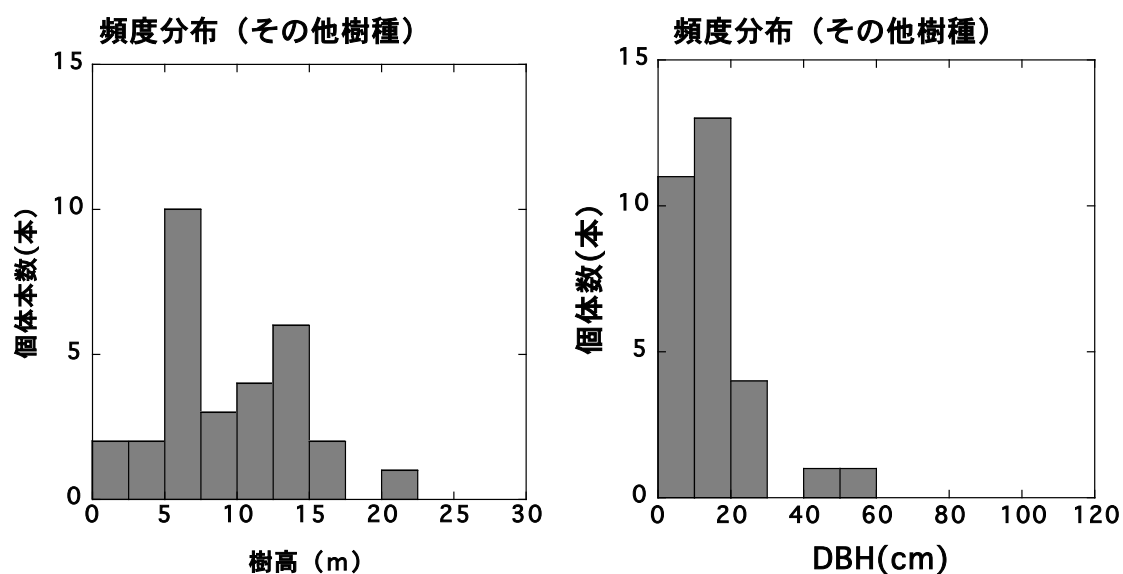


図 4. その他の樹種の樹高（左）、DBH（右）の頻度分布。群馬県沼田市玉原高原ブナ平において 0.25ha（50m×50m）の調査プロットを設置し、幹周りが 15cm 以上の成木について樹高と DBH を計測した。計測日は 2011 年 6 月 3 日であった。

その他の樹種（テツカエデ、コミネカエデ、トチノキ、コシアブラ）、は樹高 5.0～7.5m、DBH0～20cm の階級に位置する若い個体の数が最も多く、樹高 25m 以上、DBH70cm 以上の個体はなかった（図 4）。

その他樹種については、若い小径個体木が多いことが明らかになり、また本数もブナの本数の半分程度（全体の 37%）であることから、本調査地は典型的なブナ林であるといえる。このことから、本調査地のブナ林での主要な CO<sub>2</sub> 吸収・固定源は、ブナの成木である可能性が高いことが示唆される。

## 各樹種の樹高と DBH の関係

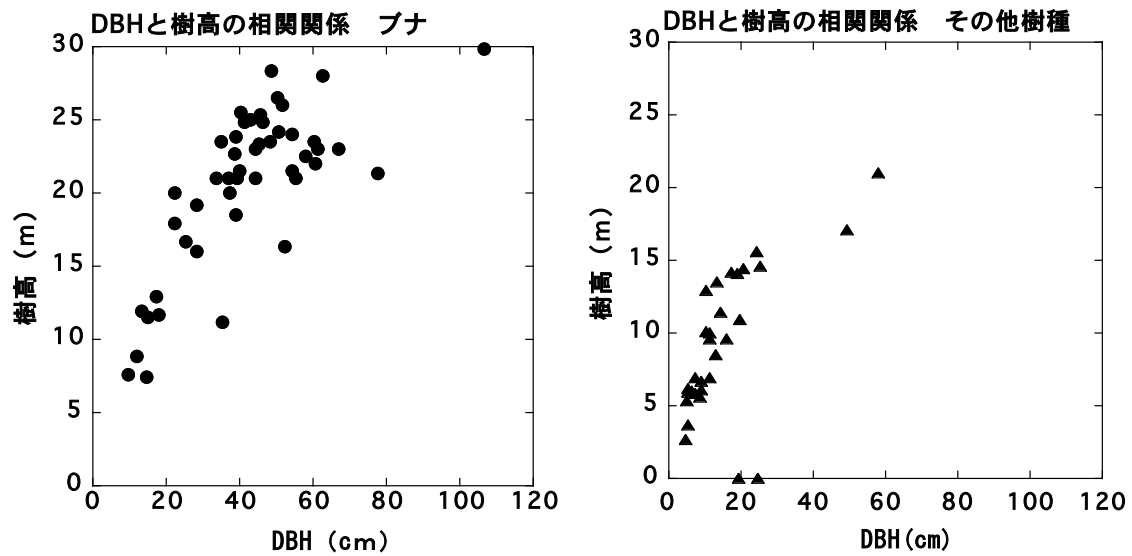


図 5. 樹高と DBH の関係。ブナ（左）およびその他樹種（右）の関係を示す。群馬県沼田市玉原高原ブナ平において 0.25ha (50m×50m) の調査プロットを設置し、幹周りが 15cm 以上の成木について樹高と DBH を計測した結果から作成した。計測日は 2011 年 6 月 3 日であった。

ブナおよびその他樹種において、DBH と樹高の関係には正の相関があり、樹高が高いほど DBH が大きい関係が認められた（図 5）。このことから、本調査地において調査木は、総じて一般的な相対生長を行っており、只木ら（1969）の研究など過去の類似の研究結果を適用することが可能であることが明らかになった。

各樹種の個体重量（現存量）の頻度分布

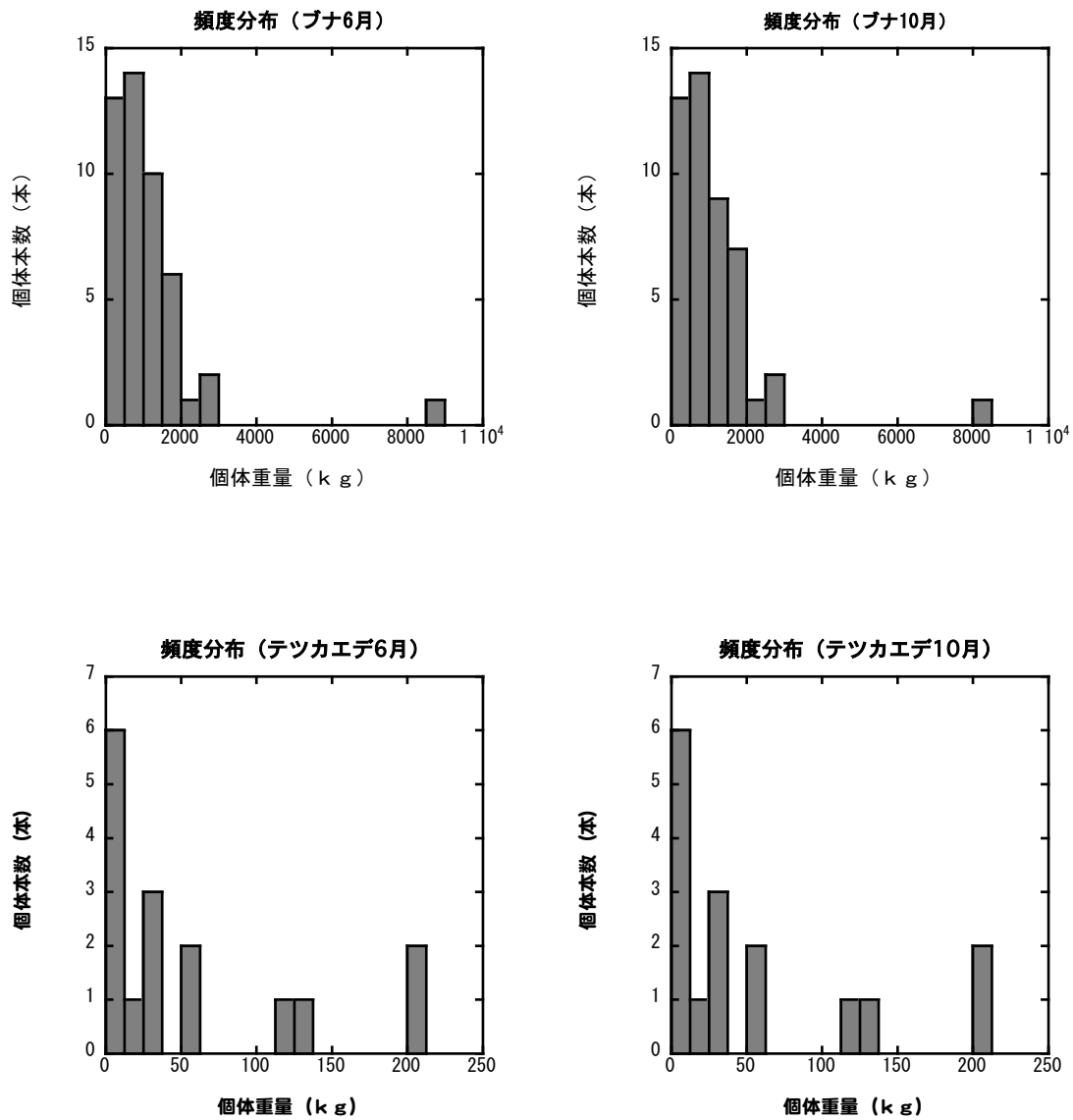


図 6. 各樹種の個体重量の頻度分布。群馬県沼田市玉原高原ブナ平において 0.25ha（50m×50m）の調査プロットを設置し、幹周りが 15cm 以上の成木について樹高と DBH を計測し、只木ら（1969）の作成した回帰式を用いて個体重量を算出した。計測日は 2011 年 6 月 3 日（左）および 10 月 20 日（右）であった。

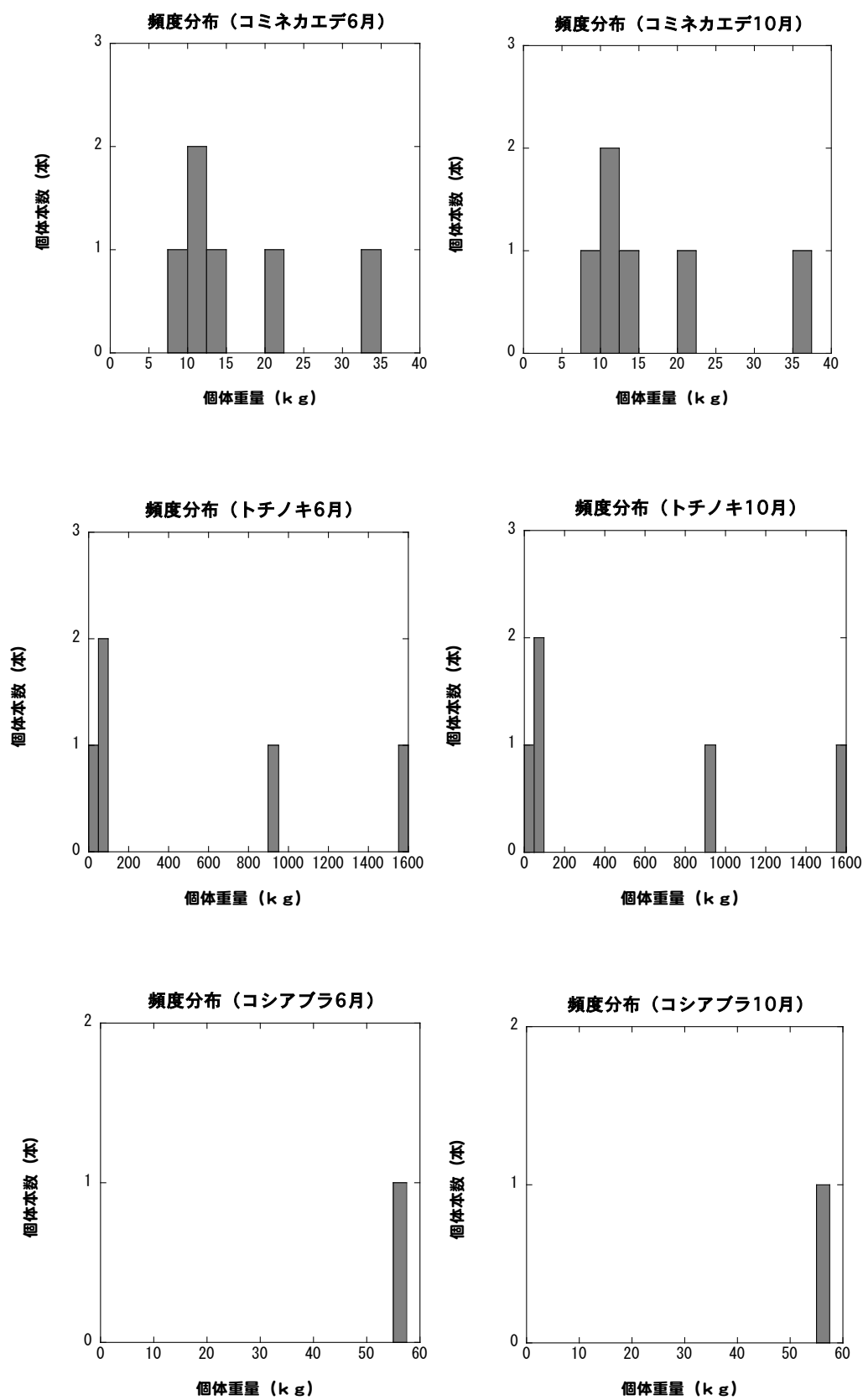


図 6. (続)

樹高と DBH の計測結果から、只木ら（1969）の作成した回帰式を用いて個体重量を算出した。ブナでは個体重量 2,000 kg 以下の個体が約 93% を占め、最大個体は 8,500kg であった。テツカエデは 50kg 以下のものが 60% を占め、最大個体では 200kg であった。コミネカエデは 15kg 以下のものが 66% を占め、最大 13kg であった。トチノキでは 100 kg 以下が 60% に対して最大が 1,500kg であった（図 6）。個体重量で見ても本調査地は典型的なブナ林であるといえる。このことから、本調査地のブナ林での主要な CO<sub>2</sub> 吸収・固定源は、ブナの成木である可能性が高いことが示唆された。

## 樹高・DBH と成木生長量の関係

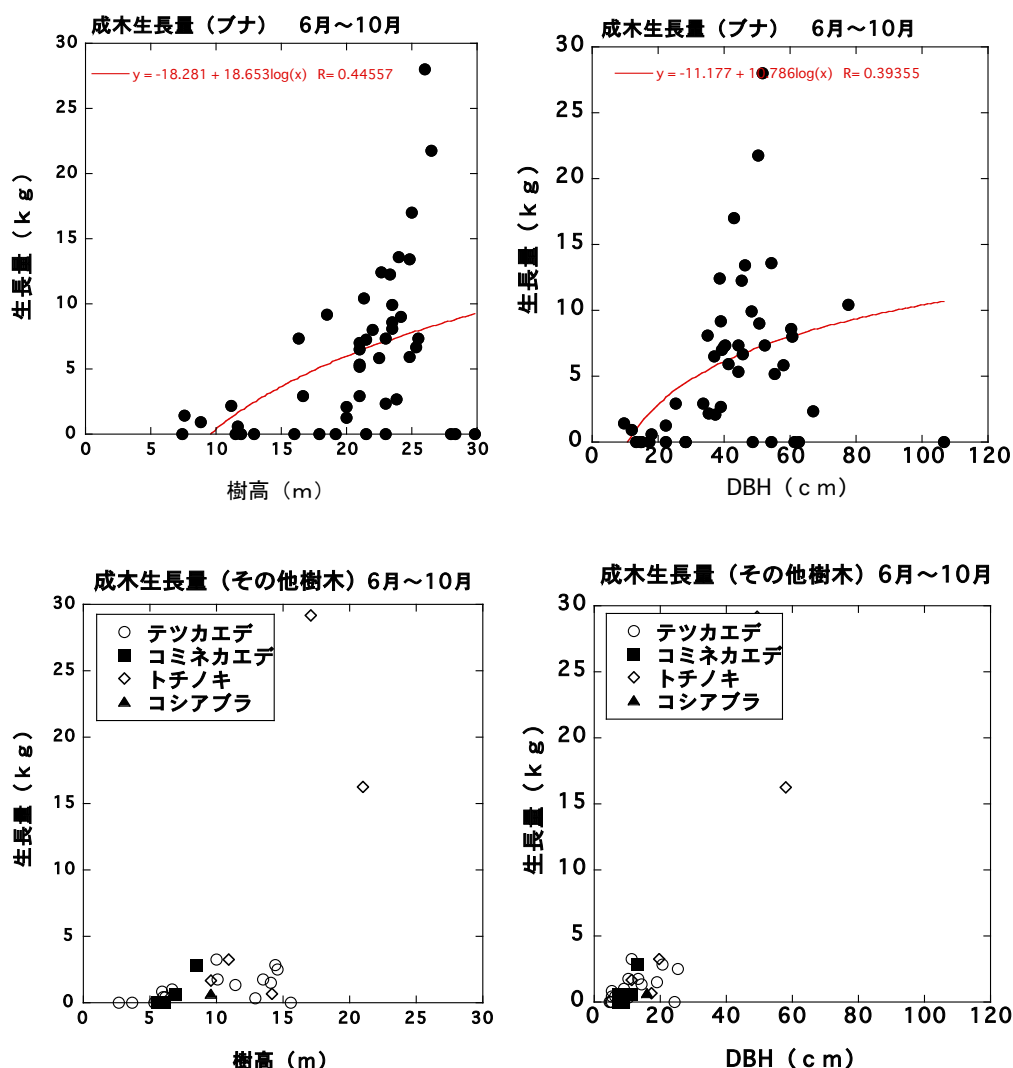


図 7. 樹高・DBH と成木生長量の関係

2011 年 6 月 3 日および 10 月 20 日の 2 回の毎木調査の結果から、この間の成木生長量を算出した。上段がブナ、下段がその他の樹種における関係を示す。

ブナでは、樹高 15m 以下、DBH20cm 以下程度の個体では生長量が少なく、また樹高 30m、DBH100cm の個体（ブナ地蔵、写真 5）では有意な生長は見られなかった。これらの間に分布する個体では、生長量は数 kg から 20kg を越える個体まで様々であり、また有意な生長の見られない個体も複数みられた。これらの結果は、ブナの成木は相対生長を行うので、中間的なサイズで最も生長量が多くなるが、実際には個体ごとの生育環境によって大きく左右されることを強く示唆するものであると考えられる。林内にギャップが諸処で見られたことから、個体ごとにおかれた光環境の違いが、生長量を大きく左右すると考えられる。

その他樹種では、ブナに比べて生長量が少ない個体がほとんどであった。1 本だけ、トチノキの巨木の生長量が顕著に大きかった。

以上の結果から、ブナ林における成木のそれぞれの生長量は、毎木調査を行って算出しないと決して正確に推定できないことが明らかになった。



写真 5. ブナ地蔵（2011. 10. 20 撮影）

## 現存量合計と純一次生産量

2011 年 6 月の毎木調査から推定された個体重量（WT-6）2011 年 10 月の毎木調査から推定された個体重量（WT-10）は、それぞれ 55,911.6kg、56,235.3kg となった（表 4）。これらの値を調査面積で除すると、それぞれ 223.6t ha<sup>-1</sup>、224.9t ha<sup>-1</sup>となった。

表 4. 2011 年 6 月の毎木調査から推定された個体重量（WT-6）2011 年 10 月の毎木調査から推定された個体重量（WT-10）の合計。

WT6（2011 年 6 月）の合計

| 幹重量合計   | 枝重量合計   | 葉重量合計  | 根重量合計  | 現存量合計   | (単位)                  |
|---------|---------|--------|--------|---------|-----------------------|
| 31261.8 | 16358.6 | 1238.6 | 7052.6 | 55911.6 | (kg)                  |
| 125.0   | 65.4    | 5.0    | 28.2   | 223.6   | (t ha <sup>-1</sup> ) |

WT10（2011 年 10 月）の合計

| 幹重量合計   | 枝重量合計   | 葉重量合計  | 根重量合計  | 現存量合計   | (単位)                  |
|---------|---------|--------|--------|---------|-----------------------|
| 31439.2 | 16459.5 | 1246.0 | 7090.5 | 56235.3 | (kg)                  |
| 125.8   | 65.8    | 5.0    | 28.4   | 224.9   | (t ha <sup>-1</sup> ) |

これらの結果から、本調査地において 2011 年の生長期間を通じて、合計 323.7Kg、ヘクタールあたりにすると  $1.3 \text{ t ha}^{-1}$  の成木生長があったと推定された。また純一次生産量 (NPP) は、これに葉の生産量 (=葉の重量合計) の  $5.0 \text{ t ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$  を足して、 $6.3 \text{ t ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$  と推定された。

植物体のほとんどは炭水化物でできており、その炭素含量はおおむね 50%程度である。これと本研究の結果から簡便な計算を行うならば、ブナ平のブナ林は年間約  $3.2 \text{ t ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$  の炭素を吸収・固定することになり、 $\text{CO}_2$  換算ではこれに 3.67 (分子量比 44/12) を乗じて、年間約  $11.6 \text{ t ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$  が吸収・固定量となる。

先に述べた沼田市・新宿区のカーボンオフセット協定に際して群馬県が認証した、年間約 70t の  $\text{CO}_2$  吸収・固定量は、面積換算すると約  $4.2 \text{ t ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$  となる。すなわち玉原高原ブナ平のブナ林は、この値の約 3 倍近くもの  $\text{CO}_2$  吸収・固定能力を有しているといえる。

吉良 (1976) がまとめた日本の森林タイプごとの地上部純一次生産量の推定値では、冷温帯落葉広葉樹林で  $8.74 \pm 3.47 \text{ t ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$  となっている (表 5)。本研究で得られた NPP の推定値である  $6.3 \text{ t ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$  から根の増加分 0.2 を引くと 6.1 となり、この値が、地上部純一次生産量に相当する。すなわち玉原高原ブナ林の地上部純一次生産量は、吉良が示した冷温帯落葉広葉樹林の値の範囲に入る、標準的な値であるといえる。

表 5. 日本の森林タイプごとの地上部純一次生産量の推定値 (Kira 1976)。単位は  $\text{t ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$ 。カッコ内の数字は計算に用いた試料数を示す。

|                  |                                        |
|------------------|----------------------------------------|
| 亜寒帯針葉樹林          | $11.15 \pm 3.75$ (88)                  |
| <u>冷温帯落葉広葉樹林</u> | <u><math>8.74 \pm 3.47</math> (55)</u> |
| 温帯針葉樹林           | $14.25 \pm 5.78$ (96)                  |
| マツ林              | $13.64 \pm 5.00$ (44)                  |
| 暖温帯常緑広葉樹林        | $20.65 \pm 7.21$ (33)                  |

町田 (2005) は 2002 年と 2004 年に玉原高原ブナ林および群馬大学構内混交林 (前橋市荒牧町) で行った毎木調査の結果から、この 2 年間に現存量が、群馬大学構内混交林では  $9.3 \text{ t ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$ 、玉原高原ブナ林では  $18.0 \text{ t ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$  増加していること、リターが群馬大学構内混交林では  $6.8 \text{ t ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$ 、玉原高原ブナ林では  $4.9 \text{ t ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$  生産されていることを示した (表 6)。すなわち樹木による光合成生産によって、群馬大学構内混交林では  $16.1 \text{ t ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$ 、玉原高原ブナ林では  $22.8 \text{ t ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$  の植物体が毎年蓄積されている (=樹木純生産速度) と推定された。

表 6. 町田（2005）による 2 つの森林生態系の純一次生産速度の推定値一覧

| 計測場所                                                     |                                            | 群馬大学構内混交林 |       | 玉原高原ブナ林  |       |
|----------------------------------------------------------|--------------------------------------------|-----------|-------|----------|-------|
| 計測年                                                      |                                            | 2002      | 2004  | 2002     | 2004  |
| 現<br>存<br>量                                              | 幹 (t ha <sup>-1</sup> year <sup>-1</sup> ) | 174.2     | 188.9 | 234.8    | 261.8 |
|                                                          | 根 (t ha <sup>-1</sup> )                    | 44.4      | 48.4  | 50.7     | 58.1  |
|                                                          | 葉 (t ha <sup>-1</sup> )                    | 12.7      | 12.7  | 4.0      | 5.7   |
|                                                          | 合計 (t ha <sup>-1</sup> )                   | 231.3     | 249.9 | 289.6    | 325.6 |
| 樹木生長速度 (t ha <sup>-1</sup> year <sup>-1</sup> )          |                                            | 9.3       |       | 18.0     |       |
| リターフォール (t ha <sup>-1</sup> year <sup>-1</sup> )         |                                            | 7.7       | 5.9   | 4.0      | 5.7   |
|                                                          |                                            | (平均) 6.8  |       | (平均) 4.9 |       |
| 樹木純一次生産速度<br>(t ha <sup>-1</sup> year <sup>-1</sup> )    |                                            | 16.1      |       | 22.8     |       |
| リター分解率 (%Year <sup>-1</sup> )                            |                                            | 34.1      |       | 24.5     |       |
| 森林生態系純一次生産速度<br>(t ha <sup>-1</sup> year <sup>-1</sup> ) |                                            | 13.8      |       | 21.7     |       |

ただしこの推定は、毎木調査による直接比較で算出したものではない。樹木位置が正確に記録できず、個々の成木の直接比較によって生長量を算出することは多大な誤差を生ずる危険性が高かったからである。そこで 2002 年と 2004 年の毎木調査結果と今回の毎木調査結果それぞれについて、個々の成木の DBH から幹および根の現存量を算出し、その総和を分布面積で除することで各年のヘクタールあたりの成木現存量を算出し、差分をとることによって年間の樹木生長速度を算出したものである。DBH から幹および根の現存量を算出するに際しては、今回使用した只木らの式ではなく、Kira・Ogawa (1968) の結果をもとにして独自に作成した回帰式を用いた。

また玉原高原で用いたブナ林の位置も、今回とは異なり、やや標高の低い、沼田市営キャンプ場の横の斜面地であった。その中にはブナ、アサノハカエデ、コハウチワカエデ、ホウノキ、ハウチワカエデなどが生育し、1684m<sup>2</sup>の調査地区内で成木 82 本（うちブナ 55 本）が生育し、全立木密度は約 487（うちブナが 327）本 ha<sup>-1</sup>であった。今回の調査区では全立木密度は 300（うちブナが 188）本 ha<sup>-1</sup>と、町田の調査区と比べるとかなり低い値のように見える。しかし、過去の研究結果によって、日本海型ブナ林では、ブナ林冠木は 165 本程度である（島野・沖津 1994）とされているので、今回の調査地点のブナの立木密度のほうが典型的な値であるといえる。実は町田の玉原高原ブナ林での研究地点では、冠木に達していない小径木が多いために（調査木の DBH、樹高は非常に広範囲にわたり、ブナの最大値の半分にも達していないものが多数含まれたが、大型の老齢木も数本あった）、

立木密度はこの典型値よりも高くなったと考察されている。玉原高原ブナ林は、様々な伐採圧を受けた林分があるが、大部分は少なくとも数百年間、人為的あるいは自然の強度な森林破壊・崩壊に見舞われない状態で維持されていて、ブナの天然更新が随所で進行中であると考えられている（モスレムら 1993）。今回の調査地はどちらかというと成熟した林分であり（モスレムら 1993）、町田（2005）の調査地点は、どちらかというと更新後新しく、生長が進行中の若い林分であると推察される。

里山においてコナラ林は古来より、10～30 年周期で伐採され、そこから新たに出てくる萌芽が生長して再び二次林を形成する、というサイクルで維持されてきた（大住 2011）。こうした施業方法は、コナラは生長が速いが自然状態では寿命が短いことを、うまく回避するための方策であったといえる。つまり、コナラ林はその本来の性質のため、そもそも長期 CO<sub>2</sub> 貯留には向かないといえる。したがって、沼田市・新宿区のカーボンオフセット協定によるコナラ植林の効果は、時間的に限定的なものと考えられる。

## 総合考察

本研究によって、玉原高原ブナ平のブナ林は年間約  $11.6 \text{ t ha}^{-1}$  の  $\text{CO}_2$  を吸収・固定することが示された。この値は、沼田市・新宿区のカーボン・オフセット協定に際して群馬県が認証したコナラ植林地の値である約  $4.2 \text{ t ha}^{-1}$  の、約 3 倍近くにもなる。実際にこのコナラ植林地がこの値どおりの  $\text{CO}_2$  を吸収・固定する可能性は極めて低いと考えるならば、ブナ林の  $\text{CO}_2$  吸収・固定能力は相対的にさらに高いと評価するべきであろう。

ブナ林の保全のためには、単に  $\text{CO}_2$  固定源としてだけではなく、水源涵養、生物多様性、快適性などの森林生態系の有する多様な機能を発揮することも考慮されるべきであろう。本研究や過去の研究で示されたように、ブナ林は高い  $\text{CO}_2$  の吸収・固定能力を長期間にわたって発揮する。一方、成熟したブナ林をはじめとする森林は、水土保持や生物多様性の保全に効果的であり、炭素貯蔵量も大きい。化石資源に頼って今日の森林が急減している中、持続可能な森林管理の実現は、グローバルな課題となっている。今後は長期的視野から自然林維持の対策に積極的に取り組んでいく必要がある。

沼田市は新宿区とのカーボンオフセット協定に先立ち、2010 年 9 月 16 日「森林  $\text{CO}_2$  吸収量認定書」を群馬県から授与され、17.20ha における植栽及び下刈りによる森林整備を 10 年間続けることによって、総計で 700 トンの  $\text{CO}_2$  吸収量に値すると認証された。本協定の基幹である“年約 70 t の  $\text{CO}_2$  吸収”の部分は、ゴルフ場跡地のコナラ植林によって果たして実現可能なのだろうか。植栽されたのは全て樹高 70cm 内外のコナラの稚樹であり、これらが約 2m 間隔で植栽されている。コナラは比較的生長の早い樹種であるが、稚樹から生長する間の死亡率はゼロではない。一研究例である（甲斐 2006）が、暖地で同様のサイズのコナラ稚樹を同程度の密度で植林した場合、植林後 10 年で樹高 9m 程度、胸高直径 8 cm 程度にしか生長せず、また最大 20%程度が枯死する。25 年後に成木となった時には樹高 14m 程度、胸高直径 13 cm 程度となり、40%~50%程度が枯死する。本協定でコナラが植栽された地は標高 800m 程度の寒冷地であるので、コナラの生長はこれらの値よりも遅く、また死亡率は高いと推察される。

こうしたコナラ植林地が“年約 70 t の  $\text{CO}_2$  吸収”を行うという算定は、「日本国ガスインベントリ報告書」（2011）にもある、京都議定書による“炭素ストック変化量及び GHG 排出・吸収量の算定方法”の算定式による。この式の中には、林学分野でスギなど一斉植林された林分の樹木現存量（バイオマス）の簡易算定に用いられる“バイオマス拡大係数”が用いられている。スギ一斉林では、植栽された稚樹は自然にはほとんど死亡しないものとしてバイオマスの推移を算定するので、この拡大係数は常に正の値である。したがってこのような係数を用いて、死亡率がゼロでないことがわかっている樹種について、植栽した直後にバイオマスの推移を算定することは、非常に過大な  $\text{CO}_2$  吸収・固定量をはじき出

すことになると言わざるをえない。

京都議定書では、数値目標を持っている先進国における植林活動が国内温暖化対策として、途上国における植林活動がクリーン開発メカニズム（CDM）として、それぞれ認められた。荒地等に植林をして森林を回復することにより、光合成によって  $\text{CO}_2$  を固定し、樹木や土壌中に炭素を蓄積することが可能となった。数値目標を持った先進国が資金を出して途上国で実施する CDM 植林活動が温暖化対策と認証され、 $\text{CO}_2$  吸収分の炭素クレジットが発行される。そのような中、同じ面積の森林減少と植林を比較すると、森林減少では、過去に蓄積してきた炭素が短期間に排出されるのに対して、植林では、樹木の生長に時間がかかるため、森林減少で排出された量に相当する炭素を再吸収するためには数十年の時間がかかる。これらの理由により、現状では植林対策による  $\text{CO}_2$  吸収量よりも森林減少による  $\text{CO}_2$  排出量の方が、グローバルにはずっと大きくなると考えられる。植林やこれによるオフセットよりも、現在残っている森林がこれ以上減少しないように、様々な保全対策を実行する方が重要であるといえる。

こうした植林をする際にも考慮しなければならないのは、地域を代表する樹種を植栽することであると考えられる。

日本製紙グループは 2010 年 6 月、群馬県丸沼高原で 25 種 1 万本の樹木の植樹を行った（日本製紙総合開発 HP）。これは世界中で植樹の指導を行っている横浜国立大学の宮脇昭名誉教授の指導を受けて、スキー場周辺で行ったもので、ブナ・ミズナラ・カツラなどの苗を植えたものである。しかし当地を 2011 年 10 月に視察にいったところ、それぞれの樹木はアトランダムに植栽されており、各樹種の生育特性が全く考慮されていない様子であった。このまま放置すると、植栽樹木間で強い競争が生じ、競争に弱いあるいは不適な環境条件下に植栽された樹種の多くは衰退するものと推察される。また、植栽地はスキー場の土手であり、地形的に土砂崩れなどの風水害が発生しやすいと見られる。さらには植栽樹種の中にクリがあったが、クリは低地性の樹木であるため、丸沼高原の標高（約 1400m）から考えると良好な生育は困難であると推察される。

これに対して、齋藤ら（2009）は、長野県南相木村神流川揚水発電所上部ダム建設跡地における緑化復元にあたり、この地域が持つ固有の多様性の高い森林復元を主眼として、地域性系統苗の自主育苗樹種 78 種類、約 80,000 本を植栽した。地域性系統苗と購入苗の生育の相違を調査した結果、地域性系統苗は、樹幹の下部が大きく安定した樹形であり、葉色が良好で樹勢が良好、気象害（強風、積雪害）に対する抵抗力が強い傾向が見られた。これに対して、購入苗は樹幹の上部が大きく不安定な樹形であり、葉色が悪く樹勢が不良、気象害（強風、積雪害）に対する抵抗力が弱い傾向が見られた（齋藤ら 2009）。この植林

地に 2011 年 11 月に視察に行ったところ、多くの樹種をその生育特性に基づいて組み合わせ、植栽することによって、自然状態の植物群落の構成に近い状態、あるいは将来そうなるように植栽されていることが確認できた。すなわち当植林地では、全面を一様に素早く樹林化させるのではなく、10 年あるいは 100 年後の森の姿をイメージして植林が行われている。すなわち、地域固有の多様性の高い森林を復元するためには、このような長い年月のもとで持続可能な森となるような手法が不可欠であり、そのためには高い専門性を持つ指導者と地域の人々の豊かな経験を協働させて、森づくりを進めることが重要であるといえる。

以上のように、植林対策による CO<sub>2</sub> 吸収量の確保のためには、それぞれの地域の特性に合った多くの樹種を植栽することが不可欠である。

またブナ林には現在、地球温暖化によって衰退する危険性が迫っているとされる。温暖化影響総合予測プロジェクトチーム（2008）は、現在ブナ林が分布する地域における分布適域は、2031—2050 年には減少すると予測した。

温度条件の面からみるとブナ林の分布域は、暖かさの指数でほぼ 45～85℃・月の範囲内にある。また、ブナを含むブナ属は、気温の年較差が小さく湿潤な、海洋的な気候下に分布する植物とされている（寺澤・小山 2008）。

この分布域の南端付近となる六甲山のブナ林は、海拔 750m 以上で成立していて、面積約 700ha になる。太平洋側のブナは結実率が低いと言われているが、ここでは 14 年間の長期にわたって結実しないこともあり、後継樹がなかなか育たない。今後、温暖化が進み現在よりも気温が 1.1℃上昇すると、六甲山からブナだけではなく多くの植物が消滅あるいは衰退すると予測されている（岩槻・堂本 2008）。

温暖化影響総合予測プロジェクトチーム（2008）は、降水量の変化もブナ林の分布域の変化に強い影響を及ぼすとしている。気温が現状より 2℃上昇する場合、同時に降水量が 40%増加すると分布適域は現状の 6 割に減少するだけだが、降水量が逆に 40%減少すると分布適域は現状の 2 割以下に減少してしまう。気温上昇が 4℃上昇すると、降水量が 40%増加しても分布適域が 1 割に減少してしまう。このように温度上昇だけでなく、降水量の減少がブナ林分布確率を大きく低下させる。

温暖化影響総合予測プロジェクトチーム（2009）は、暖かさの指数、最寒月最低気温、冬季降水量変化、夏期降水量変化を気候変数として、将来のブナ林の適域を（ブナ林の成立に適する地域）推計した。これによると温暖化に伴い低標高域はブナ林の成立に適さなくなり、ブナは低標高域に分布する他の樹種に置き換えられる可能性があり、最も厳しい安定化レベルの場合には、今世紀末には全ブナ林の 36%の衰退は免れないとされる。特に東海・中部・近畿、中国・四国・九州のブナ林は温暖化の進行に伴い、大幅に適域が失われる。さらに、地球温暖化に伴って、ブナがより北方に移動する機会が増えると予測され

ている。現在のブナ林の北限は北海道の渡島半島黒松内低地付近にあるが、この北限が温暖化によって、より北東に分布適域が広がる。したがって、温暖化に伴いブナが北限を超えて北東域に侵入する機会が増えると考えられている。

最終氷河期が終わってから、約1万年をかけて現在の分布域にまで広がったブナ林とその生態系の多くが、20世紀後半のわずか数十年という一瞬に近い時間で、人間による開発行為によってすでに大きく改変され、多くが消失した。地球温暖化によるさらなるブナ林の急激な消失や改変という大きな変化は、森林そのものの生態系や周辺の河川、沿岸海域の生態系に影響をおよぼすことになる危険性が高いと考えられる。

このようなブナ林の衰退が今後本当に進行してしまうと、ブナ林の有するCO<sub>2</sub>吸収・固定能力を大きく損ない、最悪の場合そこに貯留されてきた巨大な炭素ストックまで放出に向かうことで、温暖化を加速してしまいかねないだろう。森林保全によって温暖化の進行を防止する対策は重要であるが、同時に、化石燃料消費の抜本的な削減など、温暖化の主要原因物質であるCO<sub>2</sub>の放出を激減させる対策が不可欠である。

## 謝 辞

本研究を行うにあたって、群馬大学社会情報学研究科の石川真一教授、西村尚之教授、西村淑子准教授にはゼミや卒業研究を通じて適切なご指導とご助言を頂きました。また、群馬大学社会情報学部環境科学研究室所属のゼミ生の方々にも適切なご指導とご助言を頂きました。

本研究は、これらの方々のご指導、ご助言なくしては完成し得なかったものであります。以上の方々には心より感謝をするとともに、厚く御礼申し上げます。

## 引用文献・HP

- IPCC 第一作業部会・第二作業部会・第三作業部会報告書（2007）「気候変動に関する政府間パネル第四次評価報告書」.
- 赤上裕章（2010）「里山における希少植物種の生育に関する生態学的基礎研究」群馬大学社会情報学部卒業論文.
- 岩槻邦男・堂本暁子（編）（2008）「温暖化と生物多様性」築地書館. 東京.
- 犬井 正（2002）里山と人の履歴（株）新思索社. 東京
- 及川武久（2000）陸上生態系の炭素固定機能. 「陸上生態系による温暖化防止戦略」（藤森隆郎監修）. 21-34. 博友社. 東京.
- 温暖化影響総合予測プロジェクトチーム（2008）「地球温暖化「日本への影響」-最新の科学的知見-」.
- 温暖化影響総合予測プロジェクトチーム（2009）「地球温暖化「日本への影響」-長期的な気候安定化レベルと影響リスク評価-」.
- 温室効果ガスインベントリオフィス（編）（2011）日本国ガスインベントリ報告書. 地球環境センター・（独）国立環境研究所.
- 甲斐重貴（2006）「コナラ人工育成試験-25年間の成績-」九州森林研究 59号.
- 木村真人・波多野隆介（2005年）「土壌圏と地球温暖化」名古屋大学出版. 名古屋.
- Kira T. (1976) Primary productivity of Japanese forests. *In*: T. Shidei and T. Kira (eds.). JIBP Synthesis 16. Univ. Tokyo Press. Tokyo 101-114.
- 群馬県（2011）群馬県地球温暖化対策実行計画 2011-2020. 群馬県.
- 群馬県（2011）群馬県森林・林業基本計画. 群馬県.
- 齋藤与司二・中井秀信・大坪恒美・等々力敏樹・山田守（2009）寡雪寒冷地における地域性系統苗の生長と管理手法について. 日本緑化工学会誌. Vol.35.
- 島野光司・沖津 進（1994）関東周辺におけるブナ自然林の更新. 日本生態学会誌. 44: 283-291.
- 只木良也・蜂屋欣二・棚秋一延（1969）森林の生産構造に関する研究(XV). ブナ人工林の一次生産. 日本林学会誌. 331-339.
- 寺澤和彦・小山浩正（2008）「ブナ林再生の応用生態学」文一総合出版. 東京.
- 西村尚之・真鍋徹（2006）森林動態パラメータから森の動きを捉える. 「森林の生態学. と由紀大規模研究からみえるもの」（種生物学会・編）. 181-202. 文一総合出版. 東京.
- 原沢英夫・西原秀三（2003）「地球温暖化と日本」古今書院. 東京.
- 原 正利（1996）ブナ林の自然誌. 平凡社. 東京.
- 藤森隆郎（2003）新たな森林管理（社）全国林業改良普及協会. 東京.

- 藤森隆郎 (2004) 「森林と地球環境保全」 丸善株式会社. 東京.
- 藤森隆郎 (2007) 「森林生態学」 (社) 全国林業改良普及協会. 東京.
- 中静 透 (2004) 森のスケッチ. 東京大学出版会. 東京
- 中村 徹 (2010) 森林学への招待 筑波大学出版会. 茨城県
- 町田由利香 (2005) 「日本の代表的森林生態系の CO<sub>2</sub> 収支に関する実地研究」 群馬大学社会  
情報学部卒業論文.
- 宮前俊男 (2000) 「玉原の植物」 財団法人森林文化協会. 東京.
- モスレム-アキバリニア・福島司・小賀坂純子 (1993) 群馬県玉原高原における伐採を受け  
たブナ林の更新に関する研究 (II). 異なる程度の伐採圧を受けたブナ林の更新の現状.  
森林文化研究. 14: 59-72.
- 湯本貴和・大住克博 (2011) 里と林の環境史. 文一総合出版. 東京.
- 依田恭二 (1971) 森林の生態学. 土井印刷株式会社. 東京.
- 鷺谷いづみ (2011) さとやま. 株式会社 岩波書店. 東京.
- 環境省 <http://www.env.go.jp>
- 気候変動監視レポート 2009 (2010)  
<http://www.data.kishou.go.jp/climate/cpdinfo/monitor/index.html>
- 日本製紙総合開発 <http://www.npd.jp/npd/>