

原 著

## 森林の多様性と二酸化炭素吸収量

清心女子高等学校 鈴木美有紀

清心女子高等学校 竹居 セラ

清心女子高等学校 秋山 繁治\*

鳥取大学農学部 佐野 淳之

### Forest diversity and CO<sub>2</sub> absorption

Miyuki SUZUKI, *Seishin Girls' High School*

Sella TAKEI, *Seishin Girls' High School*

Shigeharu AKIYAMA, *Seishin Girls' High School*

and

Junji SANNO, *Faculty of Agriculture, Tottori University*

### Abstract

The aim of the present study is to clarify the role of forests in the absorption of carbon dioxide. In order to determine forest CO<sub>2</sub> absorption capacities, we conducted a five-year investigation of artificial and natural forests, examining tree height, diameter and age. We then analyzed these data with regards to the forest structure and diversity of tree species. We found that artificial and natural forests absorbed CO<sub>2</sub> at rates of 139 kg/100 m<sup>2</sup>/year and 261 kg/100 m<sup>2</sup>/year, respectively. Compared to artificial forests, the natural forests had a complex hierarchical structure containing a wide range of tree types and trees of differing heights. We hypothesized that these characteristics allow natural forests to achieve a more efficient rate of photosynthesis. Moreover, we found that red pine trees, in particular, have a high CO<sub>2</sub> absorption rate because of their rapid growth. We concluded that natural forests have a significantly greater ability to absorb CO<sub>2</sub> than artificial forests. A typically Japanese person emits approximately 2 tons of CO<sub>2</sub> per year from household, indicating that only 7% and 13% of the annual emissions from a single person can be absorbed by 100 m<sup>2</sup> of artificial and natural forests, respectively. These results suggest that not only the protection of natural forests, but also fundamental changes in our lifestyle are necessary to stem the rise in CO<sub>2</sub> emissions.

キーワード：階層構造, 天然林, 樹齡, 人工林, 遷移.

### はじめに

地球上に生息する生物の多くは呼吸によって酸素を吸収し二酸化炭素を排出しているが、植物が光合成によって二酸化炭素を吸収し酸素を排出す

ることで、大気のバランスが保たれ、生態系が維持されてきた。特に、多種多様な生物が生息する森林生態系は、地球の生物多様性を支え、森林の二酸化炭素吸収能力は地球温暖化防止に重要な役割を担っている（林野庁2010）。

近年、化石燃料の消費と森林伐採によって大気中の二酸化炭素濃度が上昇し、温室効果による地

\*連絡先：akiyama@nd-seishin.ac.jp

球温暖化が問題になっている (IPCC 2007)。さらに気温の変化によって特定の生物が絶滅するといった生物多様性への影響も危惧されている (環境省2010)。

そこで、本研究では、地球温暖化防止における森林の役割を明らかにするために、人工林と遷移段階の異なる3種の天然林を対象に、森林を構成する樹種とその樹高・胸高直径・樹齢の調査を5年間継続して行い、様々な森林における樹木の多様性と二酸化炭素吸収量の関係について考察した。

### 調査対象

調査地は、岡山県と鳥取県の県境に位置する鳥取大学フィールドサイエンスセンター教育研究林「蒜山の森」である。2006年は植林されたヒノキ林 (人工林)、2007年と2008年はアカマツが優占しているアカマツ林 (天然林)、2009年はクヌギ・カシワが優占しているクヌギ・カシワ林 (天然林)、2010年はコナラ・ブナが優占しているコナラ・ブナ林 (天然林) の人工林1林分と天然林4林分について調査した。天然林は植林が行われていない二次林である。胸高直径 (高さ1.3mでの直径) が5cm未満 (2007年は10cm未満) の細い樹木に関しては調査対象外とした。調査時期は毎年7月26

日から7月31日の間である。

## 方 法

### 1. 野外調査

それぞれの森林内で代表的な場所に班ごとに1つずつ100㎡ (10m×10m) のプロットをポケットコンパスを用いて設定し、プロット内の樹木についてナンバリングし、樹高・胸高直径・樹齢を測定した。2006年から2008年は4プロット、2009年は5プロット、2010年は2プロットで調査を実施した。

樹高は測高竿と超音波測高器を、胸高直径は直径割巻尺を用いて測定した。また、樹齢は、成長錐を用いて測定した。地表から30cmの位置に成長錐をねじり込み、年輪を細長い円柱形にくりぬいた。採取したサンプルを「コア」と呼ぶ。コアの樹皮側から色が濃い年輪を順番に読むことで、樹齢を推定することができる。

### 2. 二酸化炭素吸収量の計算方法

二酸化炭素吸収量の計算を、樹高・胸高直径・樹齢のデータを用いて行った。樹木は光合成によって二酸化炭素を吸収し、炭素を残して、酸素や水を排出する。つまり、樹木に残った炭素量が分かれば過去の二酸化炭素吸収量が推定できる。まず、樹木の体積を西日本立木幹材表 (林野庁

#### 【調査地の状況】



ヒノキ林 (人工林) (2006.7.27)



アカマツ林 (天然林) (2007.7.25)



アカマツ林 (天然林) (2008.7.31)



クヌギ・カシワ林 (天然林)  
(2009.7.31)



コナラ・ブナ林 (天然林)  
(2010.7.30)

1970) を用いて、樹高と胸高直径から算出した。体積は樹種や生育場所によって異なる。

一般に樹木の質量の1/2は炭素であることから、幹の体積から容積密度と拡大係数をかけて樹木の炭素貯蔵量を推定した(松本 2001)。さらに、炭素の原子量(12)と二酸化炭素の分子量(44)の比から今まで吸収した二酸化炭素量を推定した。それを樹齢で割ることで、1年当たりの二酸化炭

素吸収量を算出した。

### 3. 生物多様性の比較方法

生物多様性を検討するにあたって、まず種数を比較した。しかし、同じ2種の樹木があるとき、99本と1本の場合と、50本と50本の場合では、後者の方が多様である。この考え方を均等度という。均等度を求めた式を説明する。まず胸高直径(DBH)から胸高断面積(BA)を求め、樹種別

#### 【測定方法】



プロットを設定するための測量 (2008.7.30)



測高竿による樹高の測定 (2009.7.31)



超音波測高器で樹高を測定 (2008.7.30)



直径割巻尺で直径を測定 (2008.7.30)



成長錐でコアを採取 (2008.8.1)



コアの年輪を数えて樹齢を決定 (2010.7.30)

に比較し、樹木の優占度（BA指数）を算出する。求めた樹種別のBA指数を、シャノン・ウィーバーの多様度の式  $H' = -\sum p_i \cdot \log_2 p_i$  の  $p_i$  にそれぞれ代入した。Σ記号に従って総和すると多様度が求められる。多様度には種数と均等度両方の要素が入っている（種数が無限なら  $H'$  は無限）。そのため、多様度がある種数の最大値  $\log_2 S$  (Sは種数) で割ることで、均等度が求められる。一般に、均等度が高いほど将来どちらの樹木の優占度が高くなるのかの予測が難しいことを示している。

### 結果と考察

#### 1. 二酸化炭素の吸収量

方法の1で述べた手順で調査を行い、それぞれの樹木に対して方法の2の手法で炭素貯蔵量 [kg/m<sup>3</sup>] を計算し、プロットごとに総和をとった。それぞれのプロットから得られた値を年度ごとに平均し、1 m<sup>2</sup> 当たり換算したものを表1に示す。

さらに1年単位の二酸化炭素吸収量の比較を行うために、方法で示した手順で二酸化炭素吸収量 [kg/m<sup>3</sup>] を求め、各樹木の樹齢で割った値をプロットごとにまとめた。炭素貯蔵量と同様に、年度ごとに平均し、1 m<sup>2</sup> 当たり換算した年間二酸化炭素吸収量を表2に示す。なお、2007年については年輪が不明瞭で樹齢が決定できない樹木があったので、表2には示さなかった。

平均二酸化炭素吸収量の推定値は、人工林において139 [kg/100m<sup>2</sup>/yr]、2008年に調査した天然林において261 [kg/100m<sup>2</sup>/yr] であった。調査地によって天然林が人工林を下回るデータもあ

たが、3種すべての天然林のデータを平均すると、総炭素貯蔵量は16.81 [kg/m<sup>3</sup>]、1年間の二酸化炭素吸収量は1.55 [kg/m<sup>2</sup>/yr] で、人工林の総炭素貯蔵量14.24 [kg/m<sup>3</sup>]、1年間の二酸化炭素吸収量1.39 [kg/m<sup>2</sup>/yr] の値を上回った。つまり、天然林の方が人工林よりも多く二酸化炭素を吸収していたといえる。天然林の二酸化炭素吸収量が人工林を上回った理由として、樹高の多様性が関係していると考えられる。そこで樹高を5mごとに区切って、樹高ごとの本数を表すヒストグラムを作成し、階層構造がイメージしやすいように面グラフに直した。その面グラフを図1に示す。

2006年に調査した人工林では、一部の樹高に本

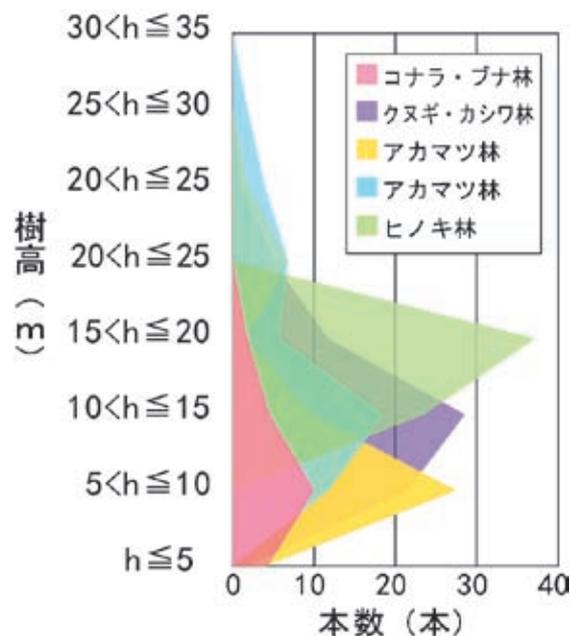


図1 樹高あたりの本数

表1 平均炭素貯蔵量 [kg/m<sup>3</sup>]

ヒノキ林 (人工林) 2006	アカマツ林 (天然林) 2007	アカマツ林 (天然林) 2008	クヌギ・カシワ林 (天然林) 2009	コナラ・ブナ林 (天然林) 2010
14.42	19.43	16.37	11.28	20.15

表2 平均二酸化炭素吸収量の推定値 [kg/m<sup>2</sup>/yr]

ヒノキ林 2006	アカマツ林 2008	クヌギ・カシワ林 2009	コナラ・ブナ林 2010
1.39	2.61	1.43	0.61

数が集中していた。これは同時期に植林し、必要のない低木は伐採してしまうためと考えられる。逆に天然林には、低木も高木もみられた。天然林は様々な樹高の樹木が存在しており、空間や光を効率的に使っているため、より多く二酸化炭素を吸収したと考えられる。

さらに、表2に示したように天然林の中でも二酸化炭素吸収量に大きなばらつきがあった理由について考察した。これに関しては樹種によって二酸化炭素吸収量が大きく異なることから、樹種構成の違いが理由ではないかと考えられる。2006年・2008年・2009年・2010年の調査から得られた樹種別の年間二酸化炭素吸収量を図2に示す。

二酸化炭素吸収量が最も多かったのはアカマツであった。今回、二酸化炭素吸収量は樹木の材積から計算した質量から算出しているため、1年間の二酸化炭素吸収量の多さは一年間の成長量が多いことを示す。つまりアカマツは成長が速いということを示している。逆にブナの成長は遅く、1年間の二酸化炭素吸収量が少ないことを示している。このように樹種によって異なる特性を持つため、様々な樹種から構成される天然林では年間二酸化炭素吸収量にばらつきがみられたと考えられ

る。

1年間の二酸化炭素吸収量はアカマツが最も多かったが、最終的な炭素貯蔵量は2007年と2008年のアカマツ林よりも2010年のコナラ・ブナ林の方が多かった。これには樹齢が関係していると考えられる。すなわち、アカマツは速く成長するがその分寿命も短く、少しずつではあるが長い年月をかけて成長するブナが、最終的な炭素貯蔵量において追い抜いたのではないかと考えられる。

私たちが家庭生活で排出する二酸化炭素をすべて吸収するには、広い面積の森林が必要である。国立環境研究所の温室効果ガスインベントリオフィス（2010）によると、2008年の1年間に日本人1人当たりが排出した二酸化炭素量は2.07トンで、日本人推計人口は約1.28億人である。すなわち、日本人が1年間家庭生活を行うことで排出する二酸化炭素をすべて吸収しきるには、今回調査した中で最も多くの二酸化炭素を吸収する森林（2008年アカマツ林）で1012万ha（2006年ヒノキ林では1900万ha）が必要であり、日本の森林面積は2500万ha（FAO 2009）であることから充足しているようにもみえる。しかし、日本の二酸化炭素総排出量のうち家庭生活からの排出量は全体

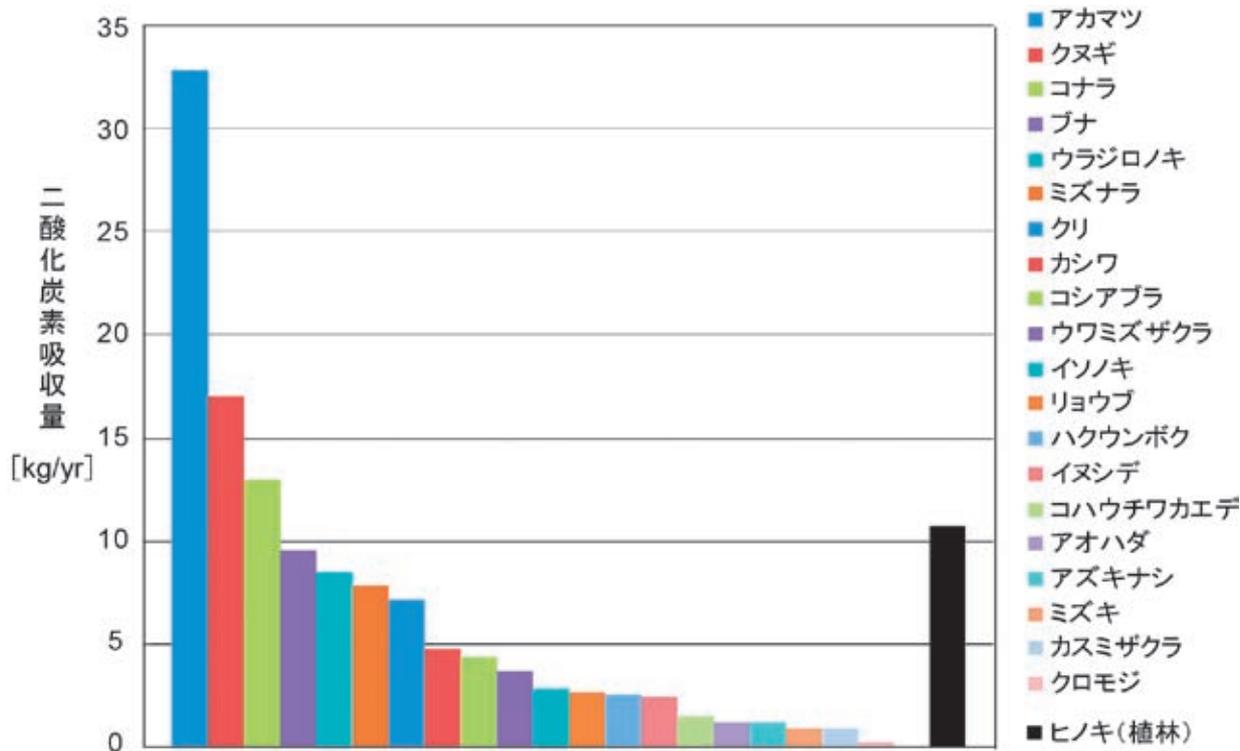


図2 樹種別二酸化炭素吸収量 [kg/yr]

の約20%で、産業・運輸・エネルギー転換などからの排出量を含めると1年間に1人当たり約10トンであり（温室効果ガスインベントリオフィス2010）、現在の森林の約2倍（人工林で約4倍）の面積が必要になる。このように、私たちが排出する二酸化炭素は、森林が二酸化炭素を吸収できる量を大きく上回っており、二酸化炭素の排出量をさらに抑制する必要性が明らかとなった。

## 2. 生物多様性の比較

図1と図2から、天然林と人工林の二酸化炭素吸収量の違いをうむ原因として、樹高のばらつきと構成する樹種の多様性が考えられる。ここでは、樹木の多様性を数値化して、多様性と炭素貯蔵量

の関係について考察する。

生物多様性の最も基本となる指標は種数である。調査した森林における樹種数と、表1に示した調査地別の平均炭素貯蔵量 [kg/m<sup>2</sup>] との関係を図3に示す。

樹種数と炭素貯蔵量には正の相関が認められるため、樹種数が多いほど炭素貯蔵量が多いことが分かった。

つぎに、樹齢の多様性と炭素貯蔵量との関係を明らかにするために、樹齢のばらつきを求めた。ばらつきの計算は、変動係数（標準偏差÷平均値）を用いた。これは調査地によって平均樹齢が異なるためである。調査地別の変動係数と、平均炭素

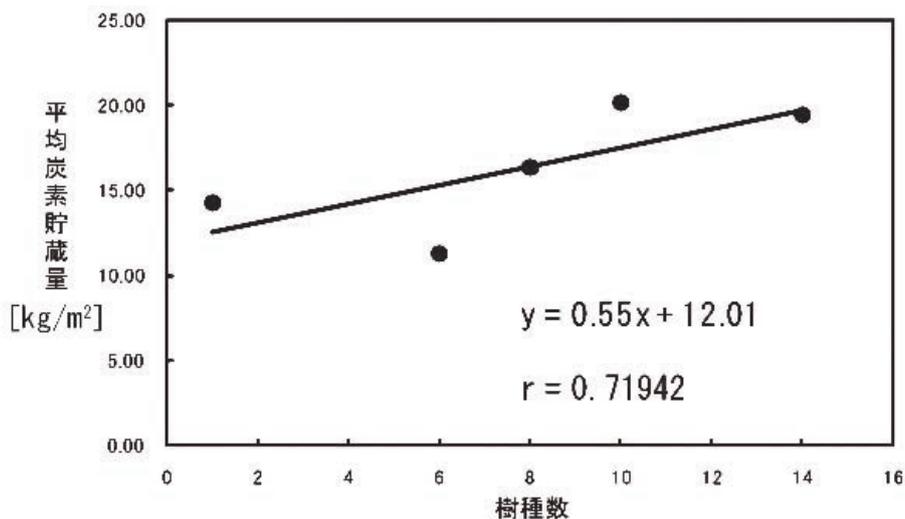


図3 樹種数と炭素貯蔵量の関係

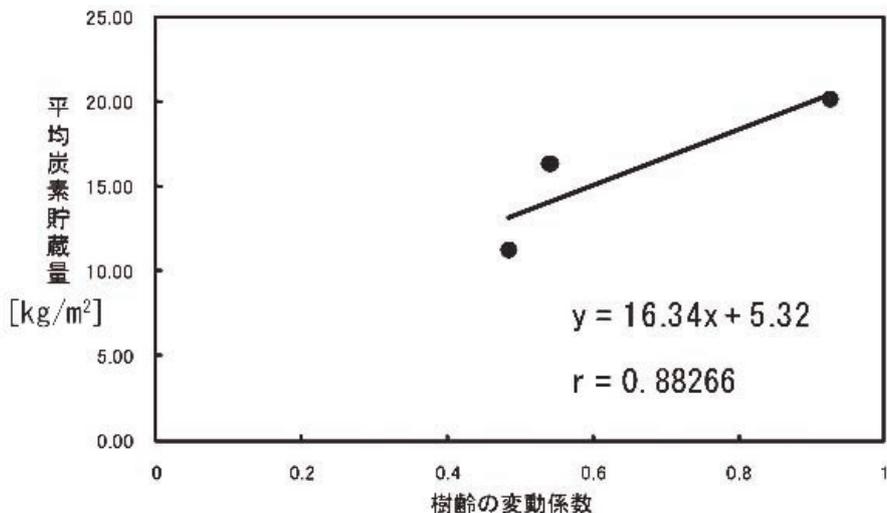


図4 樹齢の変動係数と炭素貯蔵量の関係



構成されているため、多様度も均等度も高かった。中でも、陽樹であるアカマツの優占度が高く、遷移初期段階の2007年と2008年の林分は、アカマツ1種の優占度が特に高かった。ただし、調査地のアカマツは弱っているものも多かったため、今後アカマツが倒れた場合は高木種であるコナラやミズナラが優占していくと考えられる。

遷移段階と炭素貯蔵量の関係を見るため、調査地の遷移段階を調べた。樹種別優占度(図5)をみると、2008年・2009年・2010年では植物相とが異なるため、それぞれ違う遷移状態にあると考えられる。さらに、遷移段階の違いを裏付ける指標の1つとして、樹齢の比較を行った。5年ごとに樹齢を区切り、ヒストグラムを作成した。その後バブルグラフを作成した。バブルの大きさを本数に比例させ、バブルの中心の高さを、区切った区間中の平均樹齢に対応させた(図6)。この図から2009年、2008年、2010年の順に平均樹齢が低かった。また、バブルのばらつきが大きいほど、変動係数が大きかった。図6の樹齢と、図5の植生の違いから、2009年クヌギ・カシワ林は遷移初

期、2008年アカマツ林は遷移中期、2010年コナラ・ブナ林は遷移後期と考えられる。遷移段階も二酸化炭素吸収量に関係しており、遷移が進んだ森林ほど炭素貯蔵量が多いと考えられる。また、図3と図4より、樹種数が多く、様々な樹齢の樹木があるほど炭素貯蔵量が多いことが分かった。これらのことから、樹木の多様性が高く、遷移の進んだ森林ほど二酸化炭素吸収量が多いといえる。

### まとめと今後の課題

今回の研究で得られたデータから、私たちの排出する二酸化炭素量は、森林の吸収できる二酸化炭素量をはるかに超えていることを再確認した。森林を天然林と人工林に分けて比較すると、天然林の方が人工林よりも二酸化炭素吸収量が多かった。天然林は樹高が多様であるため、光や空間を効率的に利用し、結果として二酸化炭素吸収量が多くなると考えられる。樹木の多様性を更に考察した結果、種および樹齢の多様性と炭素貯蔵量には正の相関が認められた。これらのことから、天然林の中でも特に、多様性の高い森林を守ること

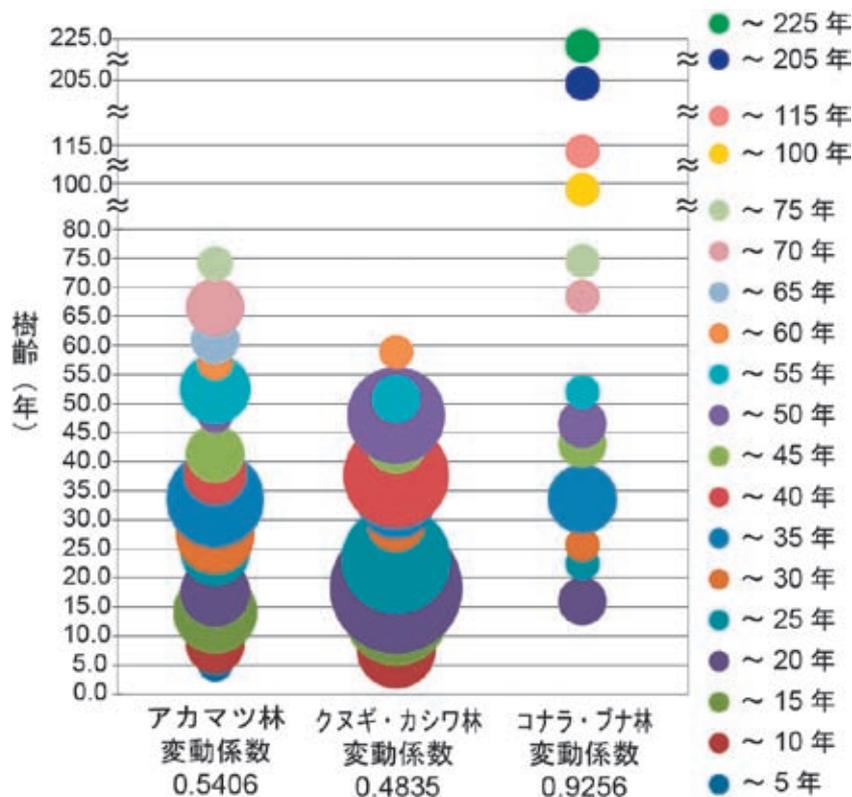


図6 樹齢ごとの本数比較

が重要だと考えられる。さらに、遷移の進んだ森林ほど炭素貯蔵量が多く、二酸化炭素吸収における極相林の重要性が示唆された。

近年、大気中の二酸化炭素の急激な増加と生物多様性の減少が地球規模の環境問題になっているが、その解決に向けて私たちに求められているのは、二酸化炭素排出量を抑制するライフスタイルに改めることと、自然度の高い森林生態系を守っていくことである。

今後の課題は、今回調査した以外の様々な森林を調査することと、森林管理と二酸化炭素吸収量の関係を明らかにすることである。日本の森林の40%を占める人工林での間伐不足などによる森林の荒廃が問題になっている。そのため、間伐などの管理の違いによって二酸化炭素吸収量がどのように変化するのかを調べる必要がある。

## 謝 辞

この研究は、蒜山野外実習に参加し、林道の叢に分け入って樹木調査をしてくれた2006年から2010年の清心女子高校生命科学コースのみなさんのご協力があったからこそまとめることができました。この場をかりてお礼を申し上げます。また、調査の際にお世話になった鳥取大学農学部教育研

究林「蒜山の森」のスタッフの方々に感謝します。

## 参考文献

- FAO, 2009. State of the World Forests. 109-115. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- IPCC, 2007. Summary for Policymakers. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. 2-17. Cambridge University Press, Cambridge.
- 環境省, 2010. 生物多様性国家戦略2010いのちは支えあう. 2-13. 環境省自然保護局,
- 松本光朗, 2001. 日本の森林における炭素蓄積量と吸収量. 森林科学, 33:30-36.
- 温室効果ガスインベントリオフィス, 2010. 日本国温室効果ガスインベントリ報告書. 2-3. 国立環境研究所地球環境研究センター.
- 林野庁, 1970. 立木幹材積表西日本編. 59-137. 日本林業調査会.
- 林野庁, 2010. 森林・林業白書平成22年度版. 31-37. 全国林業改良普及協会.