

研究論文

## 放棄竹林生態系の現存量ならびに炭素貯留量の推定に関する研究

岐阜大学流域圏科学研究センター\* 後藤誠二郎

元岐阜大学連合農学研究科\* 巳嘎那

岐阜大学連合農学研究科\* 河合洋人

陝西師範大学旅游と環境学院† 張 福平

中国科学院チベット高原研究所\*\* 賈 書剛

岐阜大学流域圏科学研究センター\* 西條好迪・秋山 侃

## 要旨

近年、管理放棄された竹林が周囲の森林へ侵入し竹林面積が増加していると報告されている。森林が竹林に変わると、森林の機能の一つである森林生態系への炭素の貯留にも影響があると推測される。しかし、竹林生態系における炭素貯留量に関する研究はほとんどなく、特に、長期間管理が放棄された竹林生態系の現存量や炭素貯留量に関する研究は行われていない。そこで、本研究では岐阜県内 3 ヶ所の放棄竹林生態系における現存量および炭素貯留量の推定を行い、森林の竹林化による炭素貯留量の変化について考察を行った。本研究における放棄竹林の地上部現存量は 42.1t/ha ~ 83.5t/ha であり、既存の研究結果よりもやや少ないものの範囲内であった。枯死脱落部の大部分を占める落葉落枝量はモウソウチク林で 4.68t/ha、マダケ林では 5.75t/ha であり、立竹密度に影響されることがわかった。地下部の現存量は約 90t/ha であったが、立竹密度よりも土壌の影響を大きく受け、A層の最も厚い場所で現存量が最も大きくなった。放棄竹林の地上部炭素貯留量は他の植生の森林の半分程度であった。細根の炭素貯留量には大きな違いは見られなかった。地下茎の炭素貯留量を含めても、土壌を除く竹林生態系の炭素貯留量は他の森林よりもかなり少ないことが判明した。放棄竹林が周辺の森林に侵入し生育範囲を拡大した場合、新しく形成された竹林の炭素貯留量は元の植生の半分以下に留まる可能性があることが判明した。

キーワード: 現存量、炭素貯留量、竹林生態系、放棄竹林

## 1. はじめに

竹林はタケノコ用や材用林として栽培・管理が行われてきた農地であり、研究の多くが竹林の構造や形態に関する研究(沼田 1955, Watanabe and Oohata 1980, Makita 1998)、タケの生理、栽培学的な研究(上田ら 1958, 池田 1983, 野中・佐々木 1992b)であった。近年、竹林経営の行き詰まりによって管理が行われなくなった放棄竹林が増加し、周囲の森林に侵入し生育範囲を拡大していることが報告(鳥居・井鷲 1997, 大野ら 1999, 片野田 2003 2004, 鳥谷部・甲斐 2005, 張ら 2006)され、生態系への影響が問題となっている。

森林には、降雨や降雪による水を蓄え流出を調節する理水機能や土石流の防止による防災面での機能な

どがある(只木 1971)。CO<sub>2</sub>の吸収による森林生態系への炭素の貯留も森林の果たす重要な機能であり、森林生態系の炭素貯留量に関する研究は日本でも多く行われている(Ohtani *et al.* 2004, Saigusa *et al.* 2005)。竹林生態系の現存量や炭素循環に関する研究については、Isagi ら(1993,1997)の京都の竹林における研究がある。しかし、それ以外の研究は報告されておらず、竹林生態系における炭素貯留量に関する知見が十分であるとはいえない。また、Isagi らの研究では枯死竹を取り除くなどの管理を行っている竹林を対象としており、長期間管理が放棄された竹林生態系の現存量や炭素貯留量に関する研究は行われていない。そのため、放棄竹林の拡大による森林生態系の炭素貯留量への影響を明らかにするためには、まず放棄竹林生態系の現存量と炭素貯留量の推定を行う必要がある。

そこで、本研究では岐阜県内 3 ヶ所の放棄竹林において毎竹調査を行い、アロメトリー式を用いて現存量を推定し、他地域の竹林の現存量と比較し考察を行った。さらに、土壌調査および各部位の炭素含有率の測定を

\* 〒501-1112 岐阜県岐阜市柳戸 1-1

\*\* 〒100085 中国北京市双清路 18 号

† 〒710062 中国西安市长安南路 199 号

(Correspondence: sei@green.gifu-u.ac.jp)

行い、放棄竹林生態系の炭素貯留量を推定した。

最後に、管理が放棄された竹林が周辺植生に侵入し森林が竹林に変遷した場合の影響を、炭素貯留量の観点から考察した。

## 2. 調査地の概要

林分を構成する種や立地条件が異なる 3 地点を選び調査を行った。1 地点目は、岐阜県岐阜市北部の椿洞(北緯 35° 28' 東経 136° 45' 標高 70m)に設定した。管理が放棄されてから約 15 年を経過した、北東向きで平均斜度約 10 度の斜面に位置する約 5ha のモウソウチク (*Phyllostachys pubescens* Mazel ex Houzeau de Lehale) 林を調査対象地とした。そこに、25m × 30m (750m<sup>2</sup>) の調査区を設けた(放置区と呼ぶ)。また、隣接する竹林において、枯死竹と細い竹を間伐した管理区 (25m × 30m, 750m<sup>2</sup>) を設けた。管理区は 3000 本/10ha を目安として間伐を行った。

2 地点目は、長良川中流河川敷の岐阜市雄総柳町にある竹林公園(北緯 35° 26' 東経 136° 48' 標高 10m)に設定した。竹林公園内で、管理が行われていないマダケ(*P. bambusoides* Siebold et Zuccarini)とハチク(*P. nigra* (Loddiges) Munro var. Henonis (Bean) Stapf)の混交竹林(本数でほぼ 8:2)を調査対象地とした。そこに、10m × 10m (100m<sup>2</sup>) の調査区を設けた(放置区と呼ぶ)。また、枯死竹と細い竹を間伐した管理区 (20m × 20m, 400m<sup>2</sup>) を設けた。

3 地点目は、岐阜県掛斐川町徳山(旧徳山村大字徳山:北緯 35° 41' 東経 136° 28' 標高 330m)で行った。現在は徳山ダムに沈んでいるが、南西向きの平均斜度約 32 度の山腹斜面に成立していた、1996 年に周囲のスギ・ヒノキ人工林が皆伐されてから急速に拡大したモウソウチクとハチクの混交林(本数でほぼ 6:4)を調査対象地とした。そこに、10m × 10m (100m<sup>2</sup>) の調査区を設けた(放置区と呼ぶ)。徳山では管理区は設定しなかった。

## 3. 調査の概略と方法

竹林生態系の構成は、大きく植物体と土壌の部分に分けることができる。さらに、植物体の部分は地上部、枯死脱落部と地下部に分けられ、それぞれ、地上部には生竹と立枯竹が含まれ、枯死脱落部には、落葉落枝、倒竹、稈鞘、リターが含まれる。地下部は地表 30cm 以下の株部、地下茎および細根に分けられる。土壌部分は A0 層とその下層の鉱質土壌の A 層、B 層、C 層から

成り立っていた。

### 3.1 地上部現存量の推定

各調査区における地上部現存量を推定するために、椿洞調査地では 2005 年 7 月、雄総調査地では 2002 年 7 月、徳山調査地では 2002 年 7 月の時点において毎竹調査を行い、種類、生竹・枯竹の区別をした上で、胸高直径(以下、DBH(cm))を測定した。

生竹について、1 個体当たりの稈および枝葉の乾物重(kg) (Dry Weight:以下、D.W.)を、後藤ら(未発表)が求めた種類別、部位別に作成した DBH を用いたアロメトリー式(1)~(7)により推定した。

$$\text{モウソウチク:D.W. (stem)}=0.0782\text{DBH}^{2.2961} \quad (1)$$

$$R^2=0.9912$$

$$\text{モウソウチク:D.W. (branch)}=0.044515\text{DBH}^{1.7744} \quad (2)$$

$$R^2=0.8468$$

$$\text{モウソウチク:D.W. (leaf)}=0.01152\text{DBH}^{2.061} \quad (3)$$

$$R^2=0.8755$$

$$\text{マダケ:D.W. (stem)}=0.0776\text{DBH}^{2.2720} \quad (4)$$

$$R^2=0.9621$$

$$\text{マダケ:D.W. (branch+leaf)}=0.0052834\text{DBH}^{2.8466} \quad (5)$$

$$R^2=0.4863$$

$$\text{ハチク:D.W. (stem)}=0.0918\text{DBH}^{2.0720} \quad (6)$$

$$R^2=0.7640$$

$$\text{ハチク:D.W. (branch+leaf)}=0.0211\text{DBH}^{1.6718} \quad (7)$$

$$R^2=0.4703$$

また、椿洞調査地には、調査区内に樹木が存在したため、その本数と DBH を測定し、大塚ら(2001)が作成した、DBH を用いた部位別のアロメトリー式(8)~(10)を用いて各部位の乾物重を推定した。

$$\text{樹木幹重:D.W.}=2.34\log(\text{DBH})-0.97 \quad (8)$$

$$\text{樹木枝葉重:D.W.}=2.35\log(\text{DBH})-1.84 \quad (9)$$

$$\text{樹木根重:D.W.}=1.98\log(\text{DBH})-1.10 \quad (10)$$

以上の部位別の乾物重に毎竹調査で得たデータを合わせて、調査区内での地上部現存量を推定した上で、さらに単位面積 1ha 当たりに換算した。

### 3.2 枯死脱落部の現存量の推定

落葉落枝量については、椿洞調査地では各調査区内に 1m × 1m のリタートラップを 3ヶ所設置し、2005 年 2 月から 2005 年 11 月まで 10ヶ月間調査を行った。雄総調査地では管理区には 5ヶ所、放置区には 3ヶ所にリタートラップを設置し、2003 年 9 月から 2005 年 11 月まで調査をおこなった。回収は月に一度行い、葉身、葉鞘、小枝、枝とその他に分別し、80°C で 1週間乾燥後、乾物率を求め、調査区全体での乾物重を求めた。

倒竹・倒木については、椿洞放置区では 2005 年 11 月に区内のすべての倒竹・倒木を回収した。徳山放置区では 2004 年 9 月に 4m×4m のコドラートを 2 つ設定し、枠内の倒竹・倒木を回収した。回収した倒竹・倒木を腐敗状態によって区分し生重を測定した。その一部をサンプルとして 80℃で 1 週間乾燥後、乾物率を求めた。但し、雄総調査地は河川敷であり、頻繁に洪水が発生し、倒竹・倒木が流亡するため、測定は行わなかった。

稗鞘については、椿洞調査地において 2005 年春に調査を行った。大きさの異なる 19 個体の離脱稗鞘を回収し、80℃で乾燥後、乾物重を測定した。7 月に入り、稗鞘を回収した個体の伸張が停止してから DBH を測定し、アロメトリー式(11)を作成した。

$$D.W.(sheath) = 4.394DBH^{2.01} \quad (11)$$

作成した式を用いて調査区における、稗鞘の乾物重を推定した。また、タケノコとして発生後、生長が停止して枯死するタケノコについて、2005 年に椿洞放置区と管理区の両方において 7 月に回収を行い生重を測定後、一部を 80℃で乾燥後、乾物率を求め、調査区全体での乾物重を求めた。

2004 年 9 月と 10 月に、各調査区に 1m×1m のコドラート枠を設置し、その枠内のリターを全て回収し、80℃で乾燥後、乾物重を測定した。雄総調査地は河川敷であり、頻繁に洪水が発生し地表が洗い流されるため、リターの計測は行わなかった。

各調査区における各項目の乾物重から、単位面積 1 ha 当たりの現存量を求めた。

### 3.3 地下部の現存量の推定

2004 年 9 月から 10 月にかけて行ったリター量調査と同時に、枠内を母岩がみえる C 層まで掘り下げ、全ての地下茎と細根を回収し洗浄後、80℃で乾燥を行ない、乾物率を求め調査区全体の乾物重を推定した。掘り下げると同時に、土壌層位を区分し深さを測定した。また、深さ 10cm ずつに含まれる土壌中の石の重さを測り、石と植物体を取り除いた層別の真の土壌量を求めた。各層ごとに Jia 式 100ml コアー(Jia *et al.* 1995)を用いた採土法で層別の土壌容積比重、土壌含水率を求め、同時に炭素含有率を測定するためのサンプルを採集した。

切り株部について、張ら(2005)は稗の乾物重を計測する際に伐採した残存部である切り株部の乾物重とその稗の DBH の間でアロメトリー式(12)を作成し、切り株部の現存量の推定を行った。

$$D.W.(stump) = 0.02DBH^{2.63} \quad (12)$$

このアロメトリー式を用いて各調査区における切り株部の現存量を求めた後、単位面積 1ha 当たりの現存量に換算した。

### 3.4 炭素貯留量の推算

椿洞および徳山調査地において、モウソウチクの稗、枝と葉、地下部の切り株部、倒竹、倒木、地下茎および細根のサンプルを回収し、全自動高感度窒素炭素測定装置(SUMIGRAPH NC-800)を用いて部位別の炭素含有率を測定した。竹林生態系を構成する各部位の単位面積 1ha 当たりの現存量に炭素含有率を掛け合わせるにより、炭素貯留量を推定した。

土壌の炭素含有量については、地下部の調査時に採取した層別の土壌サンプルを用いて、賈ら(2002)の方法に従って求めた。各土壌層の厚さ( $L_i$ ;cm)を計測し、各層における石礫率( $S_i$ ;体積%)、土壌容積比重( $d_s$ ;cm)および炭素濃度( $C_s$ ;g/100g)を計測し、式(13)を用いて単位面積当たりの炭素貯留量( $C_c$ ;g/cm<sup>2</sup>)を求めた。各層での土壌炭素濃度は植物体の炭素濃度を測定する際と同じ SUMIGRAPH 製の NC-800 を用いて測定を行った。

$$C_c = \sum_{i=1}^n L_i \times (1 - S_i) \times d_{si} \times C_{si} \quad (13)$$

この式から求めた値を、単位面積 1ha 当たりの炭素含有量(t)に換算した。

椿洞地区の樹木については炭素含有率を 50%(農林水産省 2003)と仮定して現存量と掛け合わせ、竹林生態系の炭素貯留量に加えた。

## 4. 結果および考察

### 4.1 地上部現存量の推定

アロメトリー式を用いて推定した各調査区の 1ha 当たりの地上部の部位別現存量を表 1 に示した。椿洞放置区での地上部全体の現存量は 82.1t/ha であり、その内稗部の現存量が 64.7 t/ha、枝葉部の現存量が 17.4t/ha であった。雄総放置区での現存量は全体で 83.5t/ha、稗部の現存量が 69.2t/ha、枝葉部の現存量が 14.3t/ha であった。徳山放置区での現存量は全体で 42.1t/ha であり、稗部が 35.1t/ha、枝葉部が 7.0t/ha であった。管理マダケ林では稗の割合は約 70%が良いという報告がある(沼田・青木 1964)。本研究での稗部が地上部現存量の約 80%を占め、枝葉量がその分少ないという結果は、管理放棄により竹林の純一次生産量が減少する可能性があることを示している。地上部現存

表1 各調査区における地上部の  
部位別現存量(t/ha)

	放置区			管理区	
	椿洞	雄総	徳山	椿洞	雄総
稈部	64.7	69.2	35.1	36.9	24.3
枝葉部	17.4	14.3	7.0	9.8	4.5
合計	82.1	83.5	42.1	46.7	28.5

量は各調査地における、種類や稈の太さ、密度を反映したものである。調査した放棄竹林3ヶ所、計5ヶ所の調査区の林分概況についてまとめた表2をみると、椿洞放置区では密度は8200本/ha、平均DBHは7.5cm、雄総放置区では16300本/ha、平均DBHは5.4cm、徳山放置区では8125本/ha、平均DBHは5.1cmであった。雄総放置区はマダケが主体の放棄竹林であり、平均DBHは小さいものの、密度が非常に高いことから、地上部現存量が最も大きくなった。逆に、徳山放置区ではDBHも密度も小さいことから、地上部現存量も少なくなった。

Isagiら(1993, 1997)の京都の竹林における地上部現存量を調査した研究では、モウソウチク林では地上部全体で112t/ha、マダケ林では139t/haであった。京都の放棄マダケ林7箇所地上部現存量を調査した渡辺・上田(1976)の研究では21.1~80.9t/haであった。また、村上ら(2006)が鹿児島県の放棄モウソウチク林で求めた地上部現存量は88.23t/haと119.99t/haであった。これらと本研究での地上部現存量を比較すると、本研究の結果はやや小さいものの、既存の研究結果の範囲内に収まっていることがわかる。放棄竹林は、林分構成が場所ごとに様々であり、地上部現存量もそれに伴い多様になる。

間伐を行うことによって作成した管理区についてみると、地上部全体の現存量は椿洞管理区では46.7t/ha、雄総管理区では28.5t/haであった。実際に管理が行われている生産竹林の平均的な林分構成は、竹材用モウソウチク林ではDBHが8.0cmで6000本/ha、筍用竹林ではDBHが8.0cmで3000本/haとされる。竹材用マダケ林ではDBHが6.0cmで10000本/haといわ

表2 各調査区の林分概況

	放置区			管理区	
	椿洞	雄総	徳山	椿洞	雄総
立竹密度 (本/ha)	8200	16300	8125	3240	7575
平均胸高 直径(cm)	7.5	5.4	5.1	8.2	5.0

れている(内村2004)。この場合、アロメトリー式から求められる地上部全体の現存量は竹材用モウソウチク林では71.3t/ha、筍用竹林では35.6t/ha、竹材用マダケ林では54.26t/haとなる。椿洞管理区はほぼ平均的な管理竹林であったが、雄総管理区ではDBH、密度ともに平均より少し小さいことから地上部現存量も少なくなった。本研究での管理区は管理開始後、間もないものであったため、管理の影響を反映した林分ではなかったと思われる。

同じ岐阜県の落葉広葉樹であるイヌブナ林における1ha当たりの地上部現存量を調査した小見山ら(2002)の研究では、幹部は123.7t/ha、枝部が30.8t/ha、葉部は2.2t/haであった。樹木はタケと異なり肥大生長を行い、また竹の稈が中空であることから、竹林の幹や枝の地上部現存量は森林よりも少なくなると思われる。

#### 4.2 枯死脱落部の現存量の推定

各調査区における1ha当たりに換算した枯死脱落部の現存量について表3に示した。椿洞放置区では、年間の落葉落枝量は4.68t/ha、雄総放置区では5.75t/haであった。内訳についてみると、椿洞放置区では葉身が2.80t/haで葉鞘が1.37t/haであり、合わせて全体の89.2%を占めていた。雄総放置区では葉身が3.40t/haで葉鞘が1.46t/haであり、合わせて全体の84.5%を占めていた。落葉落枝の大部分を葉身と葉鞘が占めていた。この葉身と葉鞘の月別の回収量について図1に示した。モウソウチク林の椿洞放置区では、葉身は4月と5月で2.08t/haであり全体の74.0%を占め、葉鞘は5月と6月で0.80t/haであり全体の58.6%を占めていた。野中・佐々木(1992a)が筍用モウソウチク林(立竹密度:1500本/ha)における落葉落枝量を調べた研究では4~7月の4ヶ月間で総量は2.70t/haであり、そのうち葉身部が1.78t/ha、葉鞘が0.27t/haであったと

表3 各調査区における枯死脱落部の  
部位別現存量(t/ha)

	放置区			管理区	
	椿洞	雄総	徳山	椿洞	雄総
落葉落枝	4.68	5.75	***	4.06	4.37
倒竹	2.3	**	4.3	*	**
倒木	0.9	**	14.5	*	**
リター	2.1	**	2.9	1.9	**
合計	9.88	5.75	21.70	5.96	4.37

\*: 実験開始時に調査区外に搬出

\*\* : 度々の洪水により流出し、測定しなかった

\*\*\*: 倒竹・倒木が多く、リタートラップを設置できず

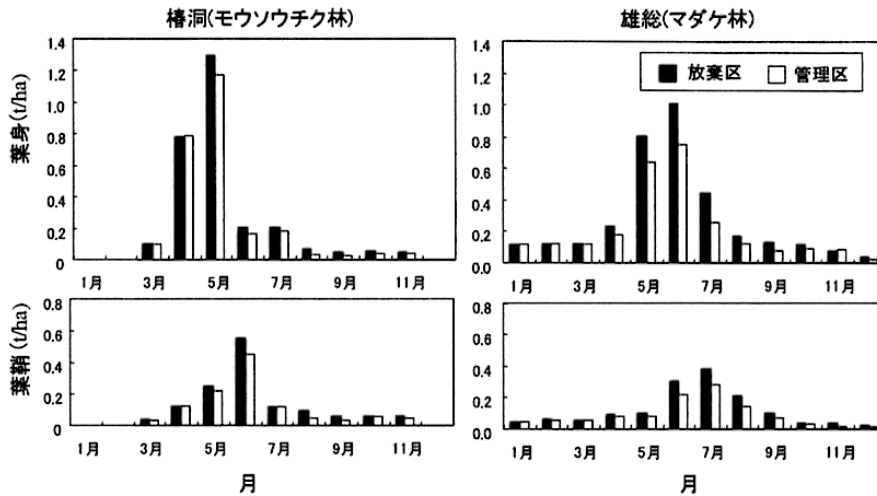


図1 椿洞、雄総両地区における葉身と葉鞘の月別回収量

報告している。本研究の椿洞地区は野中・佐々木の調査地よりも立竹密度が多い分、総量も多かったが、落下時期のピークには両者の違いは見られなかった。

マダケが主体の雄総放置区では椿洞より落下のピークは遅く、葉身は5月と6月で1.82t/haであり、全体の53.4%を占めていた。葉鞘は6月と7月が落下のピークで0.69t/haであり全体の47.0%を占めていた。Isagiら(1993)が京都のマダケ林(立竹密度:12000本/ha)で落葉落枝量を調べた結果では、年間で総量は8.42t/ha、そのうち葉身が5.84t/ha、葉鞘が1.66t/haであった。枝葉の現存量は雄総放置区とIsagiらの調査地とで大きな差は見られなかった。タケの葉替わりは2年に1回であるため、リタートラップ周辺の竹齢によって落葉落枝量は大きく異なってくる。本研究では2004年～2005年の2年に渡って調査を行った平均であるため、1年での調査結果であるIsagiらの結果より精確と考えられる。

椿洞、雄総両地区の管理区の落葉落枝量についてみると、椿洞では4.06t/haであり放置区の86.7%、雄総では4.37t/haであり放置区の76.0%であった。落下時期に放棄区と管理区で違いは見られなかった。

倒竹・倒木およびリターの現存量についてみると、椿洞放置区では倒竹が2.3t/ha、倒木が0.93t/haで、リター量は2.1t/haであった。徳山放置区では倒竹が4.3t/ha、倒木の現存量が14.5t/haでリター量は2.9t/haであった。徳山調査地は皆伐された人工林跡に侵入した竹林であるため、林床に大量の倒木があったことが倒木現存量の多さに繋がったものと思われる。管理区では倒竹や倒木は林外へ運び出したため、現存量は0とした。

竹林生態系を構成する他の要因として稈鞘と枯死筍があげられる。この二つについて椿洞放置区で調査を行った。単位面積1ha当たりの稈鞘の現存量を求めるために作成した式(11)より、椿洞の放置区における現存量は376.5kg/haであり、管理区の現存量は301.5kg/haであった。また、途中で生長が停止した枯死筍の単位面積1ha当たりの現存量は、放置区では30.2kg/haであり、管理区では23.6kg/haであった。稈鞘、枯死筍、どちらの現存量も地上部現存量の0.1%以下と少量であったため、炭素貯留量を推定する際には含めなかった。

### 4.3 地下部現存量の推定

各調査区における1ha当たりに換算した地下部の部位別現存量について表4に示した。椿洞放置区では、切り株部現存量が25.7t/ha、地下茎現存量が28.6t/ha、細根現存量が44.3t/haで計98.5t/haであった。雄総放置区では、切り株部現存量が22.9t/ha、地下茎現存量が26.0t/ha、細根現存量が40.2t/haで計89.1t/haであった。徳山放置区では、切り株部現存量が10.4t/ha、地下茎現存量が34.5t/ha、細根現存量が53.4t/haで計98.3t/haであった。地下部現存量と関連性が高いと思われるA層の深さは椿洞放置区では3～17cm、雄総放置区では9～18cm、徳山放置区では0～82cmであった。最もA層の厚かった徳山放置区において、地下茎と細根の現存量が一番多かった。切り株部の現存量は地上部現存量と相関があると思われたが、雄総放置区の方が椿洞放置区よりも切り株部現存量は少なく、切り株部の現存量にもA層の厚さが影響を与えているのではないかとと思われる。ただし、モウソウチクでのアロ



表4 各調査区における地下部の部位別現存量(t/ha)

	放置区			管理区	
	椿洞	雄総	徳山	椿洞	雄総
切り株部	25.7	22.9	10.4	17.0	6.3
地下茎部	28.6	26.0	34.5	30.7	21.0
細根部	44.3	40.2	53.4	47.5	32.4
合計	98.5	89.1	98.3	95.2	59.7

メトリー式を用いてマダケの切り株部を推定したことによる誤差があった可能性も考えられる。

張ら(2005)が同じ徳山放棄竹林で地下部を調査した結果によると、切り株部現存量が 7.6 t/ha、地下茎現存量が 15.7t/ha、細根現存量が 9.5t/ha で計 32.8t/ha であった。地下部現存量を調査した Isagi ら(1993,1997)の研究では、切り株部は調査されていないが、モウソウチク林では地下茎現存量が 16.7t/ha、細根現存量が 27.9t/ha で計 44.6t/ha であり、マダケ林では地下茎現存量が 32.6t/ha、細根現存量が 14.8t/ha で計 47.4t/ha であった。これらと比較すると、本研究結果の地下茎および細根の現存量はかなり多いことがわかる。この原因として当然立竹密度の違いが挙げられるが、A 層の厚さ等土壌の違いの影響も大きいと思われる。しかし、それ以上に地下部での調査に影響を与える要因として調査方法が挙げられる。張ら(2005)は、モウソウチクとハチクの混合林において地下部の現存量を推定する際に必要な調査面積について検討を行ない、地下部現存量に影響を与えない調査面積として 16 m<sup>2</sup>以上必要であると述べている。本研究も Isagi ら(1993,1997)の研究も調査面積が 1m×1m であり、張ら(2005)が結論づけた面積よりも小さいことから、どちらの研究結果も調査面積の大きさが地下部現存量の値に影響を与えている可能性が考えられる。

#### 4.4 竹林生態系の炭素貯留量の推定

本研究で明らかにしたモウソウチク各部位の炭素含有率と他の研究におけるモウソウチク(Isagi ら 1997)およびマダケ(Isagi 1994)の各部位における炭素含有率について表 5 に示した。ハチク各部位の炭素含有率を明らかにした研究はなく、本研究においても測定は行わなかった。細根の炭素含有率にのみ約 5%の違いが見られたが、他の部位については本研究で求めたモウソウチク各部位の炭素含有率とマダケ各部位の炭素含有率に大きな違いは見られなかった。また、樹木では種の違いに関わらず炭素含有率は 50%(農林水産省 2003)として炭素貯留量の推定が行われており、炭素含

表5 モウソウチクとマダケの部位別の炭素含有率(%)

	地上部			地下部	
	稈	枝	葉	地下茎	細根
モウソウチク(本研究)	48.9	48.2	45.2	45.6	44.8
モウソウチク (Isagiら 1997)	47.6	48.4	46.2	44.8	40.1
マダケ(Isagi 1994)	46.6	46.7	42.6	45.4	40.4

有率は種間で大きな差はないと考えられることから、本研究で明らかにしたモウソウチクの炭素含有率をマダケとハチクの両種にも当てはめた。そのため、各部位の炭素含有量は現存量を反映したものである。モウソウチク倒竹の稈の炭素含有率は 49.1%、枝は 48.4%であり、倒木の炭素含有率は 48.9%であった。調査区ごとの部位別の現存量に対して、炭素含有率を掛けて単位面積 1ha 当たりの炭素貯留量を推定した(表 6)。地上部全体の炭素貯留量は椿洞放置区で 39.7tC/ha、雄総放置区で 40.5Ct/ha、徳山放置区で 20.5tC/ha であった。枯死脱落部の炭素貯留量は椿洞放置区で 4.7tC/ha、椿洞管理区で 2.8 tC/ha であった。落葉落枝量や倒竹・倒木量、リター量など欠損値があるため、雄総と徳山では精確に推定することはできなかった。地下部全体の炭素貯留量は椿洞放置区で 45.4tC/ha、雄総放置区で 41.1Ct/ha、徳山放置区で 44.7tC/ha であった。Isagi ら(1997)のモウソウチク林における竹林生態系の炭素貯留量は地上部が 60.0tC/ha、地下茎部が 7.48tC/ha、細根部が 11.2tC/ha であった。

土壌の炭素含有率は徳山放置区で最も高く、深さ 0~10cm で 4.74%であり、深さ 100cm でも 1%以上の炭素含有率であった(図 2)。これは皆伐によるスギ等の倒木が分解されることによって、土壌の炭素含有率が増加したためではないかと考えられる。逆に、河川敷に位置し洪水により常に地表面が流される雄総調査地では炭素含有率は低かった。土壌炭素貯留量についてみると、椿洞放置区で 61.3tC/ha、雄総放置区で 54.9Ct/ha、徳山放置区で 113.8tC/ha であった。Isagi ら(1997)のモウソウチク林での土壌炭素貯留量は 94.2tC/ha であり、本研究の結果と合わせると竹林の土壌炭素貯留量は 50~120tC/ha 程度と推測される。賈ら(2002)が岐阜県高山市の冷温帯広葉樹林における土壌炭素を調査した結果では 334.3t/ha と報告している。また、高宮ら(2001)が大分県の森林において、15 種類の土壌タイプそれぞれの土壌炭素貯留量を調査した結果、炭素貯留量は 231.7±99.1t/ha であり、土壌タイプによってバラツキがあると報告している。竹林も森林も土壌炭素貯留量は植生だけでなく土壌タイプにも強く

表6 各調査区における部位別の炭素貯留量(tC/ha)

		放置区			管理区	
		樺洞	雄総	徳山	樺洞	雄総
地上部	稈部	31.6	33.8	17.2	18.0	11.9
	枝葉部	8.1	6.7	3.3	4.6	2.1
	合計	39.7	40.5	20.5	22.6	14.0
枯死脱落部	落葉落枝	2.2	2.7	***	1.9	2.0
	倒竹	1.1	**	2.0	*	**
	倒木	0.4	**	7.1	*	**
	リター	1.0	**	1.4	0.9	**
	合計	4.7	(2.7)	(10.5)	2.8	(2.0)
地下部	切り株部	12.6	11.2	5.1	8.3	3.1
	地下茎	13.0	11.8	15.7	14.0	9.5
	細根	19.8	18.0	23.9	11.8	14.5
	合計	45.4	41.0	44.7	34.1	27.1
土壌	61.3	54.9	113.8	84.3	63.8	
合計	151.1	136.4 (139.1)	179.0 (189.5)	59.5	41.1 (43.1)	

\*\*\*,\*\*:表3に準じる

影響されるため、比較することは難しい。

高宮(2002)が2ヶ所のスギ林の炭素貯留量を求めた結果では地上部の炭素貯留量は 68.9tC/ha と 99.3tC/ha であり、土壌の炭素貯留量は 91.0tC/ha と 103.0tC/ha と報告している。齋藤・古野(1982)が林齢の異なるヒノキ林の地上部現存量について報告しており、41年生のヒノキ林で194t/ha、49年生で223t/ha、14年生で61.4t/haであった。これらに炭素含有率を50%(農林水産省 2003)と仮定して掛け合わせると、地上部の炭素貯留量はそれぞれ半分の 97.0tC/ha、111.5tC/ha と 30.7tC/ha となる。また、小見山ら(2002)の研究によるイヌブナ林の地上部現存量は 156.7 t/ha であり、同様に炭素貯留量を計算すると 78.4tC/ha になる。これら他の植生と本研究での竹林の地上部炭素貯留量を比較すると、若年生のヒノキ林を除いていずれも竹林の炭素貯留量はかなり少ないことがわかる。このことは管理放棄された竹林が周辺の森林に侵入し生育範囲を拡大した場合、新しく形成された竹林の炭素貯留量は元の植生の半分以下に留まる可能性があることを示している。また、侵入された既存植生の樹木は枯れ、多量の地上部が分解系に回り、多量の CO<sub>2</sub> が放出されると考えられる。

地下部の炭素貯留量についてみると、根の炭素貯留量は明らかにされてない場合が多いため、温帯の森

林では T/R 比が 2.68~3.70 の範囲(Komiyama *et al* 2000)であることから、本研究では 3 と仮定して推定を行った。スギ林では 20~30tC/ha、ヒノキ林では 10~40 tC/ha、イヌブナ林では約 25tC/ha となり、根の炭素貯

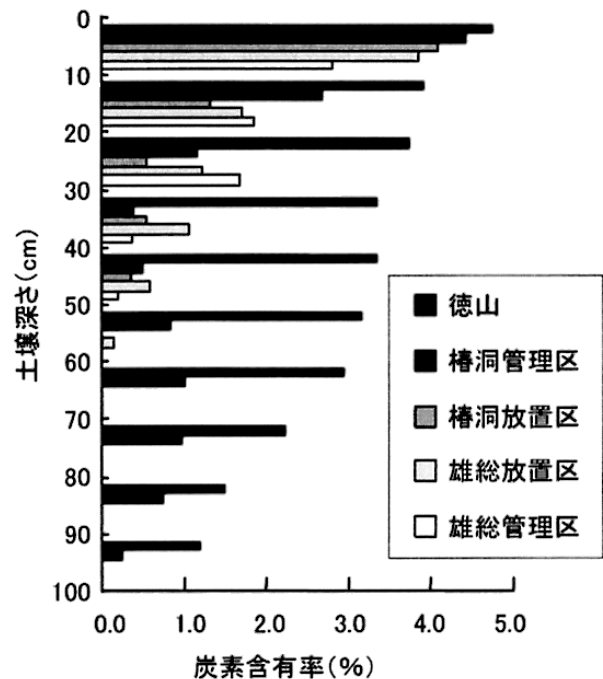


図2 各調査区における土壌の層別炭素含有率

留量は竹林と他の植生とで大きな違いは見られなかった。タケと他の樹木との大きな違いである地下茎についてみると、地下茎部分の炭素貯留量は10tC/ha以上存在するが、放棄された竹林が周辺植生に侵入した場合、株部と合わせても地上部での炭素貯留量の減少量を埋めるほどの大きな量にはならないと思われる。

竹林が周辺の森林に拡大を続けている現状は、景観面や多様性の問題の面からだけでなく、森林による炭素の貯留量の減少という面からも解決しなければいけない、重要な問題であることが判明した。現時点で森林において貯留されている炭素量を維持していくためにも、放棄竹林の拡大を阻止する方法を今後研究していく必要がある。

また、本研究では竹林生態系における現存量と炭素貯留量を明らかにしたが、今後光合成速度、タケ各部位と土壌の呼吸速度を測定することにより、竹林生態系における炭素循環や炭素固定能を明らかにして行きたい。それにより、竹林が環境保全に果たす役割をさらに多面的に捉えることができるようになると思われる。

## 引用文献

- 池田彰男, 1983, 土壌水分とたけのこの作柄について. *Bamboo Journal*, Vol. 1, pp. 36-43.
- Isagi, Y., Kawahara, T., and Kamo, K., 1993, Biomass and net production in a bamboo *Phyllostachys bambusoides* stand. *Ecological Research*, Vol. 8, pp. 123-133.
- Isagi, Y., 1994, Carbon stock and cycling in a bamboo *Phyllostachys bambusoides* stand. *Ecological Research*, Vol. 9, pp. 47-55.
- Isagi, Y., Kawahara, T., Kamo, K., and Ito, H., 1997, Net production and carbon cycling in a bamboo *Phyllostachys pubescens* stand. *Plant Ecology*, Vol. 130, pp. 41-52.
- Jia, S. G., Yang, X. M., and Wang, S. P., 1995, New series of soil samplers and their application. *Pedosphere*, Vol. 5(2), pp. 179-182.
- 賈書剛・秋山侃・小泉博, 2002, 冷温帯土壌圏の炭素動態 2. 現地詳細調査に基づく生態系炭素貯留量の推定. システム農学, Vol. 18(2), pp. 142-151.
- 片野田逸郎, 2003, 蒲生町西浦地域における竹林拡大の実態. 九州森林研究, Vol. 56, pp. 82-187.
- 片野田逸郎, 2004, ヒノキ人工林に侵入したモウソウチクの葉群とヒノキ樹冠との関係. 九州森林研究, Vol. 57, pp. 99-103.
- Komiyama, A., Havanond, S., Srisawatt, W., Mochida, Y., Fujimoto, K., Ohnishi, T., Ishihara, S., and Miyagi, T., 2000, Top/root ratio of a secondary mangrove (*Ceriops tagal* (Perr.) C.B. Rob.) forest. *Forest Ecology and Management*, Vol. 139, pp. 127-134.
- 小見山章・加藤正吾・二宮生夫, 2002, 岐阜県飛騨地方における落葉広葉樹林の相対生長関係. 日本林学会誌, Vol. 84(2), pp. 130-134.
- Makita, A., 1998, The significance of the mode of clonal growth in the life history of bamboos. *Plant Species Biol.*, Vol. 13, pp. 85-92.
- 村上桂太・竹内郁雄・寺岡行雄, 2006, 鹿児島県におけるモウソウチク林の地上部現存量. 九州森林研究, Vol. 59, pp. 121-124.
- 野中重之・佐々木重行, 1992a, モウソウチクの生理・生態に関する研究(I)-葉替りと発箭-. 福岡県林業試験場時報, Vol. 39, pp. 1-46.
- 野中重之・佐々木重行, 1992b, モウソウチクの生理・生態に関する研究(II)-気象と発箭時期及び発箭量の関係-. 福岡県林業試験場時報, Vol. 39, pp. 47-74.
- 農林水産省編, 2003, 農林水産研究開発レポート No. 8 「地球温暖化の防止に関わる森林の機能」, 農林水産省, 東京.
- 沼田真, 1955, 竹林の群落構造と遷移 -竹林の生態学的研究 第1報-. 千葉大学文理学部紀要, Vol. 4(2), pp. 221-231.
- 沼田真・青木一子, 1964, 竹の生育型 第2報 -竹林の生態学的研究 第12報-. 千葉大学文理学部紀要, Vol. 1(4), pp. 31-37.
- 大野朋子・平井潤・丸山宏・前中久行, 1999, 地形図を用いた都市近郊林における竹林化の解析. ランドスケープ研究, Vol. 62, pp. 599-602.
- Ohtani, Y., Saigusa, N., Yamamoto, S., Mizoguchi, Y., Watanabe, T., Yasuda, Y., and Murayama, S., 2005, Characteristics of CO<sub>2</sub> fluxes in cool-temperate coniferous and deciduous broadleaf forests in Japan. *Phyton*. Vol. 45(4), pp. 73-80.
- 大塚俊之・秋山侃・橋本靖・酒井徹・賈書剛・小泉博, 2001, 冷温帯落葉広葉樹林における樹木生長の推定方法の比較. 第48回日本生態学会大会講演要旨集, pp. 145.
- Saigusa, N., Yamamoto, S., Ohtsuka, T., Murayama, S., Kondo, H., and Koizumi, H., 2005, Inter-annual variability of carbon budget components in a cool-temperate deciduous forest in Japan (Takayama, AsiaFlux), *Phyton*. Vol. 45(4), pp. 81-88.
- 齋藤秀樹・古野東洲, 1982, 尾鷲および上北山にあるヒノキ林の物質生産. 日本林学会誌, Vol. 64(6), pp. 209-219.



- 只木良也, 1971, 生態学への招待2 森の生態, 共立出版, 東京.
- 高宮立身・諫本信義・森貞和仁・松本光朗, 2001, 大分県内における森林土壌の炭素貯留量について. 九州森林研究, Vol. 55, pp. 177-178.
- 高宮立身, 2002, 間伐が森林の炭素貯留量に与える影響について(II)-スギ 25 年生林分の間伐林と無間伐林における貯留量の比較-. 日本林学会九州支部研究論文集, Vol. 54, pp. 165-166.
- 鳥居厚志・井鷲裕司, 1997, 京都府南部地域における竹林の分布拡大. 日本生態学会誌, Vol. 47, pp. 31-41.
- 鳥谷部直謙・甲斐重貴, 2005, GIS と空中写真を用いた竹林動態の時空間的観察 - 国富町および綾町の事例-. 九州森林研究, Vol. 58, pp. 123-126.
- 内村悦三編, 2004, 竹の魅力と活用, 竹資源活用フォーラム, 東京.
- 上田弘一郎・斎藤達夫・上田晋之助, 1958, 竹林の肥培に関する研究(第 1 報) 三要素試験について. 京大演習林報告, Vol. 28, pp. 13-36.
- 渡辺政俊・上田弘一郎, 1976, マダケ林の構造. 富士竹類植物園報告, Vol. 21, pp. 9-26.
- Watanabe, M., and Oohata, S., 1980, Studies on bamboo culm form ( I ) On *Phyllostachys bambusoides* Sieb. Et Zucc.. *J. Jap. For. Soc.*, Vol. 62(1), pp. 9-16.
- 張 福平・魏 永芬・秋山 侃・西條好迪, 2005, デジタル写真画像を利用した竹林地下部現存量の推定. システム農学, Vol. 21(1), pp. 65-74.
- 張 福平・秋山 侃・魏 永芬・西條好迪・河合洋人・巴嘎那, 2006, 衛星複合画像を用いた竹・樹木混生林の判読. 写真測量とリモートセンシング, Vol. 45(2), pp. 5-15.

Contributed paper

## Estimation of biomass and carbon storage in abandoned bamboo stands ecosystem

Seijiro GOTO\*, BAGANA\*\*, Hiroto KAWAI\*\*, Fuping ZHANG†, Shugang JIA††, Yoshimichi SAIJOH\* and Tsuyoshi AKIYAMA\*

River Basin Research Center, Gifu University\*

United Graduate School of Agricultural Science, Gifu University \*\*

College of Tourism & Environment, Shaanxi Normal University†

Institute of Tibetan Plateau Research, Chinese Academy of Sciences††

(Received 7 March 2008; in final form 24 July 2008)

### Summary

Massive expansion of abandoned bamboo stands has been observed recently in various parts of Japan, and the original forests change to bamboo stands. In order to comprehend the transition of the carbon storage of forest ecosystem, when the abandoned bamboo stands invade surrounding forests, the biomass and carbon storage of three abandoned bamboo stands in Gifu Prefecture were estimated. In the results of this research, the aboveground biomass of abandoned bamboo stands was from 35.1t/ha to 69.2t/ha for curms and from 7.0t/ha to 17.4t/ha for leaves and branches. The total aboveground biomass was from 42.1t/ha to 83.5t/ha, within the range of the results of existing research. The litterfall biomass was 4.68t/ha and 5.75t/ha. The belowground biomass was from 10.4t/ha to 25.7t/ha for stumps, from 26.0t/ha to 34.5t/ha for rhizomes and from 40.2t/ha to 53.4t/ha for fine roots. The total belowground biomass was from 89.1t/ha to 98.5t/ha, that was larger than that of existing research. The carbon content rate of *Phyllostachys pubescens* was 48.9% for curms, 48.2% for branches, 45.2% for leaves, 45.6% for rhizomes and 44.8% for fine roots. The carbon storage of soil in abandoned bamboo stands was from 54.9t/ha to 113.8t/ha. Total carbon storage of abandoned bamboo stands ecosystem except soil carbon storage was less than that of the other vegetation forest ecosystem. When the abandoned bamboo stands invade surrounding forest, the carbon storage of new forming bamboo stands might become below the half compared with that of original forests.

**Key Words:** Abandoned bamboo stands, biomass, bamboo stands ecosystem, carbon storage

---

\* \*\* 1-1 Yanagido, Gifu 501-1112, Japan

† 199 South Chang'an Road, Xi'an 710062, China

†† 18, Shuangqing Road., Beijing, 100085, China

(Correspondence: sei@green.gifu-u.ac.jp)