

# 奈良県スギ・ヒノキ林における 現地調査による植生純一次生産量の測定

古 海 忍, 村 松 加奈子  
(奈良女子大学共生科学研究センター)

陳 璐, 熊 彦  
(奈良女子大学大学院人間文化研究科)

## Abstract

Net amount of carbon dioxide assimilated by vegetation photosynthesis is called Net Primary Production (NPP). NPP is evaluated from various estimation model using climate data and satellite data. We develop the NPP estimation algorithm using satellite data and climate data and try to make a global distribution map of NPP. The estimated value have to be validated using the ground measurement data of NPP and compared with the other satellite data. We have measured the diameter of breast height and height of trees related to the growth of cedar forest in Kansai area of Japan since July, 2002. Based on these measurement data, we obtained the result that annual NPP of this forest was 0.85 kg/m<sup>2</sup>. NPP obtained from the ground survey will be used for the validation of NPP estimated using satellite data.

## はじめに

産業革命以後、人間活動により大気中に排出された二酸化炭素量は急速に増大し、地球温暖化を抑制するために国際的な排出制限が行われることとなった。この中で森林は二酸化炭素の吸収源として注目され、その吸収量である純一次生産量 (NPP) の定量的評価が試みられてきた。1960年代には国際生物学事業 (IBP) により世界中の種々の森林に対して行われた現地調査に基づく NPP 実測値が取りまとめられ、公開されている。このようなデータをもとに NPP の全球的分布を推定する気候学的モデルの提案や、人工衛星データを用いて実際の土地被覆を反映させながら全球分布図を作成する試みが行われている。特に、衛星センサーは全球を高頻度で観測でき、また、継続的なデータが取得できることから、衛星データと気候データを併せ

て用いる精度のよい推定手法の確立が望まれる。

衛星データを用いた陸域における環境変動を解析する我々奈良女子大学の陸域グループでは、衛星 ADEOS-II/GLI データを用いた全球 NPP 分布図の作成を進めている。同時に、衛星による NPP 推定精度の検証用データを得るために奈良県吉野郡川上村のスギ、ヒノキ林（奈良県県有林）において現地調査を行ってきた。森林の現地調査による NPP 実測は 1960, 1970 年代に盛んに行われたものの、近年では調査の困難さから測定データの数が少ないのが現状である。現在の植生被覆や気候下における NPP 推定の精度を検証するためには、このような調査データは必要不可欠である。

本稿では、2002 年 7 月からほぼ毎月行っている毎木調査結果とそのデータを用いた NPP 概算値について報告する。

### 調査領域と調査内容

調査地は、奈良県吉野郡川上村にある県有林井光経営区のスギ、ヒノキ林で、北緯 34 度 20.337 分、東経 136 度 1.679 分、標高約 1250 m に位置する。調査区は、斜度約 30 度、南西斜面の 80 m×80 m の領域とした。林齢は調査開始時 2002 年時点で 36 年である。スギ、ヒノキの割合は約 7:2 で、80 m×80 m 領域内には 1108 本の立木が存在する。したがって、立木密度は 1732 本/ha である。

調査は 2002 年 7 月から 2004 年 12 月までほぼ毎月行われているが、毎年 12 月末から 3 月いっぱいには雪で覆われ現地への立入が不可能となるため、この期間は調査が行われていない。80 m×80 m の調査区内には 10 m または 20 m 間隔で縦横に調査ラインが引かれ、ライン上にある試料木 84 本について胸高直径が毎月調査時に測定された。また、樹高に関しては、ハンドレベルを用いて樹木の根元、樹頂までの俯角、仰角を測定し算出するため、毎月の樹高の変化を測定できる精度は望めないことから、約 2 年をかけて全試料木 84 本の樹高の測定を行っ

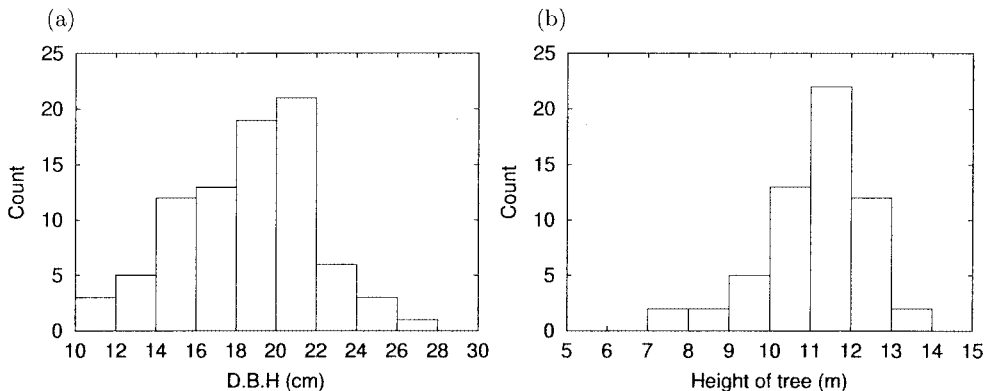


Figure 1 Frequent distribution of (a) diameter of breast height (D. B. H) [cm] and (b) height of tree [m]

た。以下、図中では kenyurin と表示する。

上記の調査の他に、隣接するスギ・ヒノキ林において間伐された捨材1本について材積や乾物重の調査を行った。本来は調査区において複数木に対して伐倒調査を行うべきであるが、奈良県の好意にもとづく調査であるため、今回は間伐された捨材1本（以下、間伐材と表記する）に対する調査結果について述べる。この間伐材の結果は ikari と表記する。

## 調査結果

調査日は、2002年7月17日、9月10日、10月28日、11月22日、2003年4月7日、5月21日、6月11日、7月20日、8月23日、10月2日、11月15日、12月15日、2004年4月2日、6月1日、7月6日、7月26日、9月1日、10月4日、11月5日、12月13日である。

2002年10月時点の試料木の胸高直径の頻度分布を図1(a)に示す。最頻値は21cmであった。同様に試料木の樹高の頻度分布図を図1(b)に示す。最頻値は11.5mであった。前述の通り、樹高の測定は約2年かけて行われた結果を集計したものである。

また、試料木全体の胸高直径の平均値は、2002年10月、2003年10月、2004年10月時点で18.8cm、19.0cm、19.5cm、試料木全体の樹高平均値は11.4mであった。

胸高直径の季節変化を見るために、2002年10月時点の胸高直径を1とし、その後の胸高直径を標準化し、その変化を図2に示す。図中の試料木は一部である。

個体差はあるものの、例年4月から7月にかけて胸高直径の増加が見られる。それ以外の時期での変化はほとんどなく、年間の成長が4月から7月期に集中している。

次に、間伐材の1本の測定データを表1に示す。

本スギ林の特徴を捉えるために、安藤ら<sup>1</sup>が他のスギ林で調査した結果と比較する。比較する調査領域は、奈良県吉野郡川上村（以下、吉野）、埼玉県飯能市（以下、西川）、北関東・阿武隈地方（以下、国有林）である。これらの領域について胸高直径、樹高、乾燥重量、幹材積などのデータが示されている。

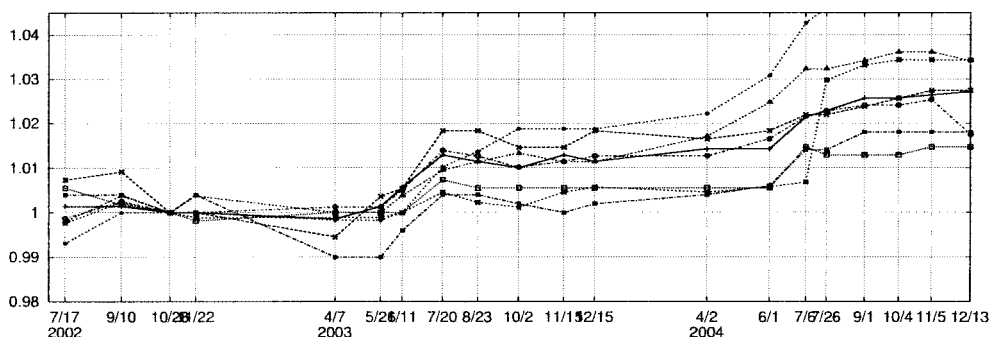


Figure 2 Seasonal change of D. B. H [cm]

表 1 間伐材の樹高, 胸高直径, 乾燥重量, 幹材積

樹高 [m]	胸高直径 [cm]	乾燥重量 [kg]			幹材積 [m <sup>3</sup> ]	容積密度 [kg/m <sup>3</sup> ]
		幹	枝	葉		
14.6	23.6	94.0	4.4	12.1	0.32	293.8

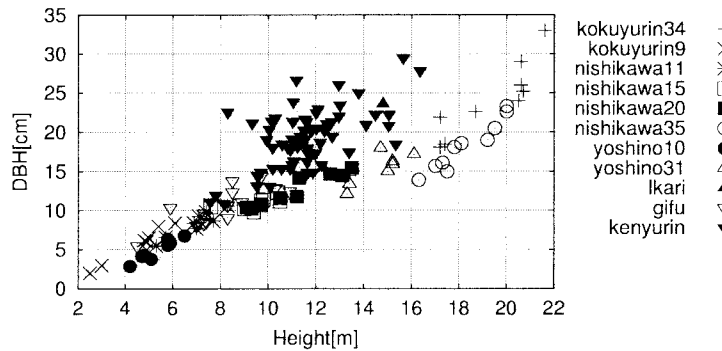
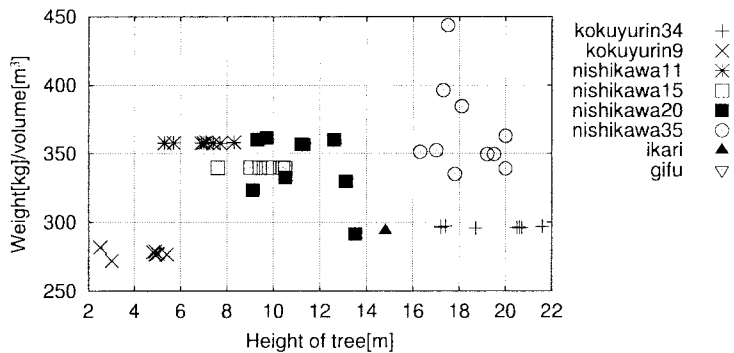


Figure 3 Relationship between D. B. H and height of trees

Figure 4 Weight density of stem part [kg/m<sup>3</sup>]

まず, 胸高直径と樹高の関係を図3に示す。図中の調査領域名(ローマ字)の横の数字は林齢を示している。この図から, 今回の調査領域の値(kenyurin:▼)は隣接領域の間伐材(ikari:▲)と同様の結果を示した。しかし, 林齢が同程度の国有林(kokuyurin 34:+)と吉野(yoshino 31:△), 西川(nishikawa 35:○)と比較して胸高直径は同程度の結果であったのに対し, 樹高は低い傾向にあることがわかる。

また, 幹部の容積密度を図4に示す。横軸は仮に樹高を取った。今回の調査領域の容積密度(293.8 kg/m<sup>3</sup>)は▼で示されており, 国有林(林齢9年 kokuyurin 9:xと34年 kokuyurin 34:+)と同程度であった。

### 胸高直径と樹高データによる現存量の概算

ここでは、調査領域での伐倒調査を行っていないため、幹、葉、枝、根といった部分の現存量を詳細に求めることができない。そこで、主に、調査領域の胸高直径と樹高から単木の現存量を求め、その変化から森林の純一次生産量を概算することとする。

まず、樹高と胸高直径から幹部の乾燥重量を概算し、これをもとに葉、枝を含めた地上部重量の概算、そして、根部の重量を概算する。これらから単木の現存量を求める。

まず、現存量として一番大きな割合を占める幹部の乾燥重量の概算について述べる。幹部の材積を胸高直径と樹高から円錐近似により推定する。円錐近似材積  $V_{cone}$  は、胸高直径 DBH (根元から 1.2 m の高さにおける幹の直径) (m) と、樹高  $h$ (m) により以下の通りに求められる。

$$V_{cone} = \left( \frac{h}{h-1.2} \times \frac{DBH}{2} \right)^2 \times h \times \frac{\pi}{3} \quad (1)$$

上式により推定された結果と実測値との関係を図 5 に示す。

円錐近似による材積は実際の値よりも過小評価されているものの、様々な調査領域のスギに対して明瞭な直線関係が認められる。この関係を直線近似すると以下ようになる。

$$V = 1.288 \times V_{cone} - 0.001 \quad (2)$$

胸高直径、樹高データより円錐近似材積を算出し、上記関係式から調査領域の材積を求めることができる。また、間伐材により得られた容積密度  $293.8 \text{ kg/m}^3$  を乗じて幹部の乾燥重量が得られる。

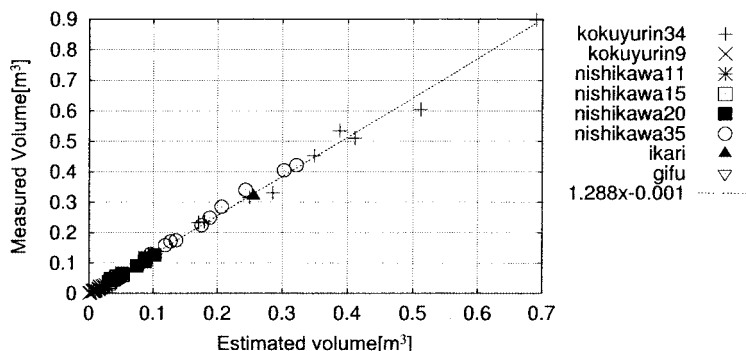


Figure 5 Relationship between volume of stem part [ $\text{m}^3$ ] measured and estimated by assuming cone shape.

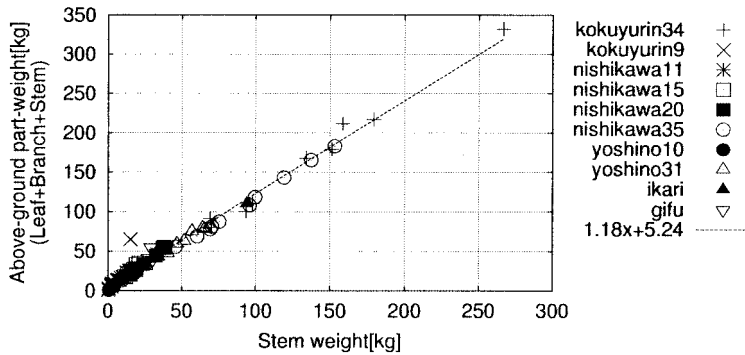


Figure 6 Relationship between weight of above-ground part and stem.

次に、幹部乾燥重から地上部乾燥重を求める。幹部乾燥重量  $W_{stem}$  と地上部乾燥重  $W_{above-ground}$  の関係を図6に示す。全ての調査領域のデータを通して良好な直線関係が認められる。直線近似の結果は以下の通りである。

$$W_{above-ground} = 1.18 \times W_{stem} + 5.24 \quad (3)$$

次に根部乾燥重に関しては T/R 率（地上部乾燥重／地下部乾燥重量）を平均 3.5 として求める<sup>1</sup>。こうして、胸高直径、樹高より地上部現存量および根部現存量を概算することができる。

### 年間純一次生産量（NPP）の概算

前述の現存量の計算手法により、調査領域の試料木 84 本の 2002 年 10 月から 2004 年 10 月までの胸高直径の増加量と同率で樹高が増加したと仮定し、2002 年 10 月と 2004 年 10 月時点の現存量を求め、その差から成長量、つまり、年間純一次生産量を概算する。

先に述べた通り、試料木の平均胸高直径は 2002 年 10 月、2004 年 10 月時点で 18.8 cm, 19.5 cm であった。増加率は、3.72% である。樹高の平均値は 11.4 m であったので、これを 2002 年 10 月時点の平均値とし、増加率 3.72% で増加したと仮定すると 2004 年 10 月には 11.8 m となる。結果、2002 年 10 月時点の現存量  $W_{all}^{2004}$  は、(1)、(2)、(3) 式を用いて、1 本当たり次式のように計算される。

$$W_{all}^{2002} = ((0.132 \text{ m}^3 \times 1.288 - 0.001) \times 293.8 \text{ kg/m}^3 \times 1.18 + 5.24) \times (1. + 1/3.5) \quad (4)$$

$$= 81.9 \text{ kg/本} \quad (5)$$

同様に 2004 年 10 月時点での現存量  $W_{all}^{2002}$  は 89.9 kg/本となる。その差から 1 年分の成長量に換算すると 4.0 kg/本/年となる。調査領域全体の立木密度 1108 本/(80 m×80 m) は斜面上

表2 年間純一次生産量の概算に与える樹高と容積密度の影響

容積密度 kg/m <sup>3</sup>	樹高の増分		
	0 m	0.4 m	0.8 m
293.8	0.63 kg/m <sup>2</sup> /年	0.85 kg/m <sup>2</sup> /年	1.11 kg/m <sup>2</sup> /年
350.0	0.75 kg/m <sup>2</sup> /年	1.03 kg/m <sup>2</sup> /年	1.32 kg/m <sup>2</sup> /年

における地表面当たりの値であるため、斜度（30度）を考慮し水平面への投影単位面積当たりとし、1本当たりの年間成長量から森林の地上単位面積当たりの成長量に換算すると、

$$NPP = 4.0 \times 1108 \times \frac{1}{(80 \times \cos 30^\circ)^2} \text{ kg/m}^2/\text{年} \quad (6)$$

$$= 0.87 \text{ kg/m}^2/\text{年} \quad (7)$$

光合成では二酸化炭素量  $6 \text{ CO}_2$  から乾燥重量  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$  への変換が行われるので、乾燥重量から吸収された二酸化炭素量に換算すると、 $0.87 \text{ kg/m}^2/\text{年} = 1.27 \text{ kgCO}_2/\text{m}^2/\text{年}$ となる。

次に、上記の概算が1) 樹高の増加率を胸高直径と同じであるとした仮定と、2) 幹部の容積密度を間伐材1本の測定データより決定していることから生じるNPP概算値への影響について試算を行う。

まず、1) の樹高に関する試算について述べる。樹高の増加率を胸高直径の増加率と同じとした場合、2002年10月時点の11.4mから2004年10月時点で11.8mとし、2年間の増分が0.4mであるとして概算を行ったが、この増分を0mとした場合と0.8mとした場合の計算結果を示す。スギ林の年間純一次生産量は、樹高の2年間の増分が0mの場合には、 $0.63 \text{ kg/m}^2/\text{年}$ 、増分を0.8mとすると、 $1.11 \text{ kg/m}^2/\text{年}$ となった。この結果は表2にまとめる。

次に、容積密度を隣接林の間伐材と同値  $293.8 \text{ kg/m}^3$  としたが、これを他のスギ林、西川（林齢35年）の  $350 \text{ kg/m}^3$  の値を用いた場合、樹高を上記と同条件として試算する。結果は、樹高の増分が0m、0.4m、0.8mとした時、年間純一次生産量は0.75、1.03、 $1.32 \text{ kg/m}^2/\text{年}$ となった。

この結果から、概算された年間植生純一次生産量は樹高の増加率よりも、幹部の容積密度に大きく依存していることがわかる。したがって、今後、容積密度に関するデータを取得し、この点の不確定性を減らす必要がある。

## おわりに

奈良県吉野郡川上村のスギ・ヒノキ林について、2002年7月より継続的に行われてきた胸高直径、樹高の測定データ、および間伐された捨材1本の乾燥重量などのデータをもとに、本

スギ林の年間純一次生産量を概算した。

調査領域は 80 m×80 m の大きさで、2002 年 10 月時点の調査領域内の試料木 84 本の平均胸高直径は 18.8 cm, 2004 年 10 月時点では 19.5 cm であった。また、樹高の平均値は 11.4 m であった。これらの測定データから森林の単位面積当たりの年間純一次生産量を概算し、乾燥重量にして 0.85 kg/m<sup>2</sup>/年という結果を得た。この測定データは、人工衛星データから推定された純一次生産量の検証データとして利用される予定である。

しかしながら、この概算には多くの仮定が含まれている。例えば、幹部の容積密度は隣接地の間伐材 1 本の測定データをそのまま利用しており、森林の代表性の問題が残されている。今後、本森林の間伐作業を利用した伐倒調査などにより、森林調査で利用されることの多い樹幹解析などの手法を取入れ、純一次生産量の実測データの精度向上を目指したい。

#### 謝辞

本研究は文部科学省フロンティア推進事業（平成 11 年～平成 20 年度）により行われた。また、本報告書における現地調査は奈良県県有林井光経営区において行われた。本調査領域への立入と調査を快く許可いただいた奈良県に感謝致します。また、奈良県農林部林政課、奈良県林業基金、奈良県川上村森林組合の皆様には、調査のたびに種々のご助言、御協力を賜りました。ここに厚くお礼申し上げます。

#### 参考文献

- 1 安藤 貴, 蜂屋欣二, 土井恭次, 片岡寛純, 加藤善忠, 坂口勝美: スギ林の保育形式に関する研究, 林業試験場研究報告第 209 号印刷, No. 209, pp. 1-76, 1968.