

上層高の変化から森林の炭素蓄積の変化を推定するときの課題

清野嘉之・齊藤 哲・佐藤 保・高橋與明・栗屋善雄 (森林総研)

Abstract: We investigated the relationships between community height and biomass for various communities and devised a generic equation for estimating biomass using overstory height as a part of methodology development to estimate GHG emissions from forest degradation using PALSAR (Phased Array type L-band Synthetic Aperture Rader) data. We also examined issues in estimating carbon stock changes using this equation. The relationships between overstory height and biomass did not differ in forest where tall tree species dominated the communities. However, we found different relationships in communities where bamboo species or shrub species have been dominant. When the generic equation is used, values of bamboo community can be overestimates as compared to estimates for tree community, while values of shrub community can be underestimates. Considering such life style of dominant species in biomass estimation will reduce uncertainty of estimates. In addition to these, the accuracy of forest carbon stock estimates are to be affected by inconsistency of definition of overstory height, lack of information about the amount of carbon in understory, and some specific uncertainties of carbon amounts in each carbon pool (biomass, deadwood, litter, and soil organic carbon).

Key words: REDD, Deforestation, Forest degradation, SAR, biomass

要旨: 森林劣化による温室効果ガス排出量の推定手法をPALSAR (フェーズドアレイ方式Lバンド合成開口レーダー) のデータを利用して開発する一環として、上層高をパラメータに群落バイオマスを推定する汎用式を作成した。また、上層高の変化から森林の炭素蓄積変化を推定するときの課題を考察した。高木林では、上層高と群落バイオマスの関係は林のタイプ間で特段の違いはなかった。しかし、高木林と竹や低木種の優占群落では、上層高とバイオマスの関係は異なった。汎用式を使用すると、高木種の森林と比べ、竹林では過大、低木群落では過少推定になる恐れがある。バイオマスの推定精度は、優占種の生活形を考慮することにより向上するであろう。森林の炭素蓄積推定の精度には、上層高の定義の一貫性、中下層植物の炭素量の計測の有無、各炭素プール (バイオマス、枯死木、リター、土壌) に固有の不確実性などが影響を及ぼす。

キーワード: REDD, 森林減少, 森林劣化, 合成開口レーダー, バイオマス

I はじめに

REDD (途上国の森林減少に由来する排出量の削減) の取り組み (7) において、森林劣化による温室効果ガスの排出量の把握が求められる可能性がある。著者らは、森林の成長や劣化にともなう温室効果ガスの吸・排出量を、高頻度にリモートセンシングできる手法を開発するため、環境省環境総合課題 (PALSAR を利用した森林劣化の指標の検出と排出量評価手法の開発に関する研究) で、PALSAR (フェーズドアレイ方式Lバンド合成開口レーダー) データを利用した温室効果ガスの把握手法の開発に取り組んでいる。合成開口レーダーは雲の影響を受けない。雲の多い熱帯地域で威力を発揮し、また、そのインターフェロメトリ機能を利用すると、高さの変化量を推定できる可能性がある。

森林バイオマスの非破壊推定に利用可能なパラメータ

には、①樹冠直径、②群落高、③群落齢、④胸高直径などの毎木調査データ (5) , そして材積の5種がある。上層高で森林の炭素蓄積を推定する手法は、群落高とバイオマス (炭素量) の間で見られる概ね正比例の関係を利用する。この正比例関係は熱帯の一次林 (2) や焼畑休閑林、人工林 (3) , 低木・草本群落 (4) のいずれにおいても見られる。バイオマスを群落高の関数で表すことにより、バイオマスの変化を群落高を通してモニタリングできる。また、焼畑休閑林では、群落高は枯死木やリター量とも正比例の関係にあり (3) , 群落高を通してバイオマスと枯死木、リターの炭素量を把握できる可能性もある。さらに、群落高とバイオマスの関係は、人工林と焼畑休閑林の間で大きくは違わず (3) , 同じ式を異なる群落タイプにも適用できる可能性がある。しかし、これは確かめられていない。そこで、PALSAR のインターフェ

Yoshiyuki KIYONO, Satoshi SAITO, Tamotsu SATO, Tomoaki TAKAHASHI, Yoshio AWAYA (Forestry and Forest Products Research Institute, Matsunosato 1, Tsukuba, Ibaraki 305-8687) Issues in estimating chronosequential changes in carbon stock of forest through overstory height.

ロメトリ機能を利用するに当たり、いろいろな群落タイプについて群落高とバイオマスの関係を比較し、汎用式を作成した。また、その式を使い、上層高の変化から森林の炭素蓄積変化を推定するときの課題を考察した。

本研究は環境省の地球環境研究総合推進費 (B-082) のサポートを受けて実施した。

II 分析に利用したデータとその扱い

熱帯、亜熱帯の高木や竹、低木が優占する植生について公表データ (インドネシア林業省 CDM 植林支援データベース, Murali and Bhat (6), Kiyono et al. (3)) や未発表資料を整理し、分析に利用した。これらのバイオマスの値は破壊法による推定、胸高直径など地上毎木調査で得られる情報にもとづく推定など、さまざまな直接・間接的方法で得られている。植生の属性 (生活形、気候条件、自然林・人工林の別など) によって適宜データを区分し、分析に供した。また、文献や資料によって上層高の定義はいろいろであり、最大樹高や平均樹高しか得られない場合もあったが、ここでは加工はせず、そのまま上層高と見なして利用した。

III 結果と考察

1. 上層高とバイオマスの関係を表す汎用式

(1) 上層高とバイオマスとの関係 高木が優占する多雨林と季節林の間で特段の傾向の違いは認められなかった (図1)。同様に常緑林と落葉林の間でも明らかな違いは認められないことが Murali and Bhat (6) のデータで確認できる (図2)。また、早生樹か非早生樹か、自然林か人工林かといった区分間でも明らかな違いはなかった。現在のデータを見る限り、高木林については一つの式を当てはめても良いようである。一方、竹林は季節林のデータしかないが上層高 20m 近くに発達した竹林は、高木林と比べバイオマスが少なかった。また、低木群落は上層高の割りにバイオマスが大きかった。このように高木種と竹、低木種といった優占種的生活形によっては上層高とバイオマスの関係が異なった。

(2) 汎用式を用いたときの誤差の範囲 図1中の全データを用いて次式が得られる (図3)。

$$\text{Biomass} = 9.2967 \times \text{Community height} \quad (n = 103, R^2 = 0.8353, P < 0.001)$$

ただし、*Biomass*: バイオマス (Mg ha⁻¹)、*Community height*: 上層高 (m)

これを群落バイオマス推定の簡易モデルとして用いたとき、誤差 (残差, 図4) は過半のケースで±30%以内、7割強で±50%以内に収まると考えられる。また、竹林では最大 100 Mg ha⁻¹ 程度の過大推定、低木群落では最大 60 Mg ha⁻¹ 程度の過少推定となる可能性がある。したがって、優占種的生活形が既知の場合は、バイオマス推定に際し優占種的生活形の違いを考慮することが精度向上にむすびつくであろう。

2. 森林の炭素蓄積変化の推定に影響を及ぼす諸条件

(1) 上層高の定義 上層高は上位○%の個体の平均樹高などと、本来、定義する必要がある。本研究では前述の通り、最大樹高、上層高、平均樹高の3種を混用している。このうち最大樹高はサンプリング面積によって値が変化するので、森林間の比較においてプロット面積を揃える必要があるという難がある。上層高は上位の個体の割合をどの程度にとるかによって値が変化する。また、常に上層高>平均樹高であるが、単純一斉林の人工林に比べ、多層からなる天然林では上層高と平均樹高との差が大きくなる。天然林では単純な平均樹高は使い難い。

(2) 群落表層に現れない植物の量と機能 上層高に直接貢献しない中下層のバイオマスは、上層高とある程度関係があると考えられる。しかし、その関係は群落タイプや森林管理 (利用) によって変化しよう。また、萌芽再生中の植物群落では地上部と地下部のバイオマスの割合が成熟時と大きく異なるので、成熟林の係数で推定すると地下部バイオマスは過少になる。

(3) バイオマスの推定誤差 IPCC National Greenhouse Gas Inventories Programme (1) は、林木の地上部バイオマス推定を林分材積に係数を掛けて行なう方法と、胸高直径などからアロメトリ式を用いて個体バイオマスを推定し、足し上げる方法を示し、後者をより推奨している。個体バイオマスの推定式は文献で得られ、UNFCCC も CDM 植林の方法論で式を示している (例えば、AR-AMS001/Version 04.1 (8))。ただ、式によって推定値が異なるので、胸高直径などからバイオマスを推定しても、検証値がないと誤差が分からない。清野ら

(4) が高木について、地下部を含む個体バイオマス推定に作成した汎用式は、最大3つ (胸高直径、樹高、容積密度) のパラメータの部分集合ごとに推定精度が確かめられており、胸高直径だけでは最大8割の誤差があるが、胸高直径と容積密度、あるいは胸高直径と樹高の2つのパラメータを用いると最大±30%程度の誤差で済むことが分かっている。

(4) 枯死木、リターの量 前述の通り、焼畑休閑林で

は群落高は枯死木やリター量と正比例の関係にあり(3)、群落高を通して地上部、地下部バイオマスと枯死木、リター量の4プール炭素量を把握できる可能性がある。乾地の熱帯林ではリターや枯死木がバイオマスと比較して大量に堆積していることは一般には考えにくいので、バイオマスに係数をかけるなど間接的に推定することがある程度は可能であろう。ただ、とくに枯死木についてはデータが乏しく、かつ少ない既存データを見る限りバイオマスと比べて大きなばらつき(時空間的な変動)があるので、データを集めて分析を進める必要がある。例えば、森林から転換されて10数年程度の低木地・草原では、湿潤熱帯でも倒木や切り株が多く、バイオマスより桁違いに大きな炭素蓄積が枯死木中にあることも少なくない。

(5) 土壌中の炭素量 土壌有機炭素(SOC)は植生に由来するので、巨視的には過去の植生量と関係があるが、母材や長期的な植生とその管理の影響が大きいので、他の炭素プールと同列に群落高と直接の関係を求めることは得策でない。地形や母材、土壌タイプ、近年の土地利用といった立地環境条件を加味して推定を行なう必要がある。

IV おわりに

以上、上層高をパラメータに植物群落のバイオマスを推定する汎用式を作成した。この式は、高木林に適用する分には大きな問題はないが、竹林や低木群落など優占種の生活形が高木とは異なる群落に適用する場合は、推定誤差が大きくなる可能性があるので注意が必要である。森林の炭素蓄積推定の精度には、上層高の定義の一貫性、群落表層に現れない植物の多寡、各炭素プール(バイオマス、枯死木、リター、土壌)に固有の不確実性等が影響を及ぼす。影響の大きさを把握し、推定精度の向上を図るのは今後の課題である。

引用文献

(1) IPCC National Greenhouse Gas Inventories Programme (2003) Good practice guidance for land

use, land-use change and forestry. Technical Support Unit IPCC National Greenhouse Gas Inventories Programme, IGES, Hayama.

(2) Kiyono Y. and Hastaniah (1997) Slash-and-burn agriculture and succeeding vegetation in East Kalimantan, Indonesia. Pusreht special publication 6, 177pp. Mulawarman University, Samarinda.

(3) Kiyono Y., Ochiai Y., Chiba Y., Asai H., Saito K., Shiraiwa T., Horie T., Songnouxhai V., Navongxai V., Inoue Y. (2007) Predicting chronosequential changes in carbon stocks of pachymorph bamboo communities in slash-and-burn agricultural fallow, northern Lao People's Democratic Republic. *Journal of Forest Research* 12:371-383.

(4) 清野嘉之, Sukaesih Prajadinata, Min Zaw Oo, 大角泰夫 (2006) 小規模環境植林における炭素換算係数及びバイオマス成長予測手法の開発. (森林吸収源計測・活用体制整備強化事業調査報告書 (2) CDM 植林基礎データ整備, 森林総合研究所, つくば) . 7-53.

(5) 清野嘉之 (2007) 森林バイオマスを非破壊的に推定する4つの手法—森林減少・劣化の把握に用いるときの長短—. 日本熱帯生態学会年次大会講演要旨集 17:42.

(6) Murali K. S. and Bhat D. M. (2005) Biomass estimation equations for tropical deciduous and evergreen forests. *Int. J. Agricultural Resources, Governance and Ecology* 4(1):81-92.

(7) UNFCCC (2007) Reducing emissions from deforestation in developing countries: approaches to stimulate action. Decision 2/CP.13. <http://unfccc.int/resource/docs/2007/cop13/eng/06a01.pdf#page=8>

(8) UNFCCC (2008) AR-AMS001/Version 04.1. <http://cdm.unfccc.int/UserManagement/FileStorage/IRG4EK84S3V1AJWF6X2AEJWS8HKGJ4>

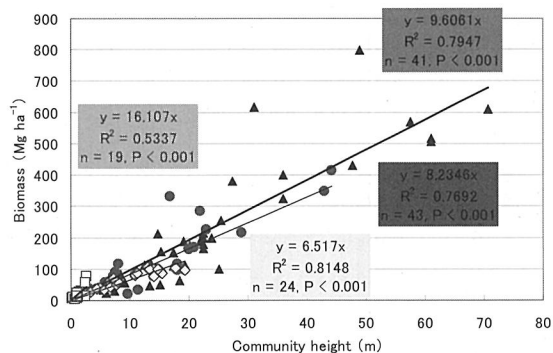


図1. 上層高とバイオマスの関係

▲ 高木種が優占する雨林（人工林を含む），● 高木種が優占する季節林（人工林を含む），◆ 竹が優占する季節林，□ 低木群落

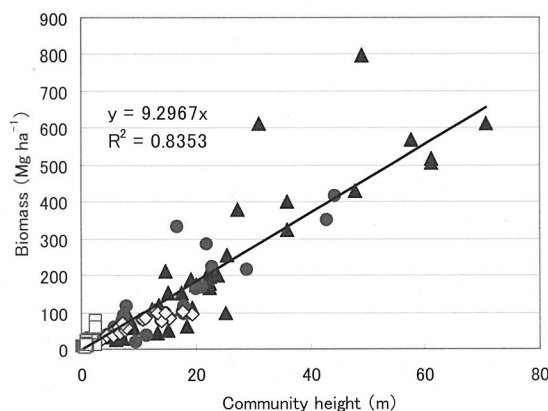


図3. 上層高からバイオマスを推定する汎用式
シンボルは図1と同じ。

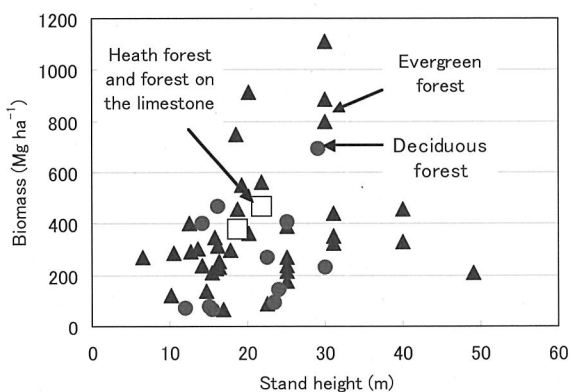


図2. 林分高とバイオマスの関係 (Murali and Bhat, 2005 より作成)

▲ 常緑林, ● 落葉林, □ ヒース林ないし石灰岩地の森林

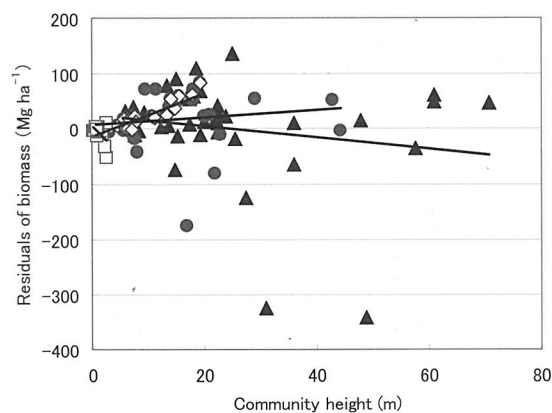


図4. 汎用式でバイオマスを推定したときの残差
シンボルは図1と同じ。