

# プロセス・ベースド・モデルを用いた 森林機能の評価に関する検討

## Evaluation of forest function using Process-Based Model

東京大学大学院農学生命科学研究科 助教  
堀田紀文

Norifumi HOTTA

Assistant Professor, Graduate School of Agricultural and Life Sciences, the University of Tokyo

### 研究の概要

森林の炭素固定機能は、地球温暖化の抑止に大きな役割を果たす。しかしながら、日本においては水源涵養機能や木材生産機能など、森林の各機能についても社会的な要請が大きい。森林率が既に十分高い日本において、これら森林の多面的機能を十分に発揮するためには、各機能を複合的に評価した上で、森林の樹種転換や土地利用変化を効率的に実施しなくてはならない。そのために本研究では、森林の動態をコンピューター上で再現するために研究目的で開発されたプロセス・ベースド・モデル（PBM）の、実地での適用を検討する。PBMの日本における適用のために、スギ・ヒノキなどの日本の森林で重要な樹種のパラメータセットを決定し、広域での適用が前提とされるPBMの適用可能なスケールを、林分スケールに対応させるために、水循環過程に関してプログラムの改良を行う。

### Abstract

Forest ecosystems play a critical role in carbon fixation during climate change. Japanese forests are expected to perform additional functions, such as timber production and streamwater recharge. Because the current forest cover ratio is sufficiently high in Japan, these forest functions would not be enhanced by increased afforestation. Instead, more benefit would be obtained from improving current management practices or innovating plantation processes. It is therefore necessary to develop a method for quantitatively evaluating the relationship between forests' functions and forest area. In this study, a process-based model (PBM) will be applied to typical Japanese cedar and Japanese cypress forests to evaluate the multiphase functions of these forests. The PBM was originally developed to be applied to vegetation on a global scale. Our first goal is to modify the water-cycle sub-model in the PBM to apply the model at a local scale suited to management; following this modification, the parameter set for typical Japanese forests will be decided.

### 1. 研究目的

森林の水源涵養機能や炭素固定能などの公益性に着目して、水源税や環境税の導入が続いている。しかしながら、森林の各機能の定量的な

評価は十分に行われていないために、公益性の根拠や評価については曖昧なままである。広域での物質循環を解明することを目的として、主に海外を中心として開発されてきたプロセス・

ベースド・モデル (PBM) は、各種の森林動態を数値的に表現することから、森林機能の定量的な評価を可能にすると考えられる。ただし、日本での適用例は少ないため、植生に関するパラメータセットについて検討が必要である。また、森林率が既に十分高い日本においては新たな植林が困難なため、森林の機能の向上は効率的な森林施業によってしか実現できない。したがって、林分スケールでの施業を反映した機能評価が欠かせず、PBM の適用可能なスケールについても検討を行う必要がある。

本研究では、PBM の日本における適用のために、スギ・ヒノキなどの日本の森林で重要な樹種のパラメータセットを決定する。また、山地林が中心である日本における PBM の適用可能なスケールについて、地形によって大きな影響を受ける水分条件の分布に対応させるため、水循環過程に関してプログラムの改良を行う。

## 2. 研究経過

PBM としては、日データの入出力に対応した Biome-BGC を選定した。森林の水源涵養機能の評価を行うためには、水資源賦存量だけでなく、少なくとも日単位での出力が必要な洪水流量や渇水流量水などについての情報も重要だからである。適用対象地は、東京大学附属千葉演習林の袋山沢試験地とした。袋山沢試験地においては、伐採による対照流域法が実施されており、各種の水文・植生量に関する各種の観測データが取得されているため、異なる成長段階の森林での水・炭素循環の検証が可能である。

まず、Biome-BGC による計算結果と対象地における観測データの比較から、Biome-BGC の各種のパラメーターの確認と最適化を行った。検討に用いた比較用の観測データは、炭素コンポネントについては、成長量 (幹材積)、葉面積指数 (LAI)、リターフォール (落葉落枝)、土壌呼吸速度、土壌中有機物量であり、水コンポネントについては、遮断蒸発量、蒸散量、流出量である。

Biome-BGC の最適化後、流域スケールでの適用を行う。適用にあたって、流域スケールでの水分動態が森林の成長段階でどのように変化するかを蓄積された観測データから明らかにした上で、Biome-BGC の出力結果について検証を行った。

## 3. 研究成果

### (1) Biome-BGC の出力と観測結果との比較

Biome-BGC は、そのままでは伐採や伐採後の成長についての計算を行えない。本研究では、スピニアップ後に生成される中間ファイル中の各数値 (: 計算時の初期条件を規定する) を変更することによって、伐採の影響評価を可能とした。

図 1 に、対象地への Biome-BGC の適用結果を示す。収穫表と Biome-BGC による計算結果は良好な対応を示すことが分かる (図 1 a)。対象地での幹材積は連続データとしては取得されていないが、千葉演習林での収穫表 (スギ) と良好に一致することが分かっている。リターフ

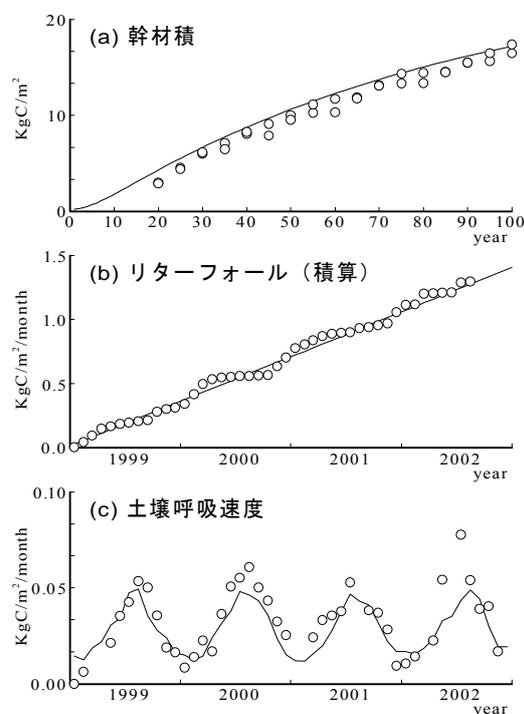


図1 Biome-BGC と観測値の比較. 白丸が観測値、実線が計算値を示す。

オールの観測値は変動が大きいですが、積算値は Biome-BGC とほぼ一致した (図 1 b). LAI については連続的な観測データは存在しないが、壮齢林の状態において、計算値と観測値は同程度の値 (LAI=4 程度) を取る事が確認できた。これらの結果は、対象地でのスギ人工林の成長について、Biome-BGC が高い再現性を有していることを意味する。Biome-BGC は、土壌呼吸速度についても季節性を含めて良好に再現し (図 1 c), 土壌中の有機物含有量も計算値と観測値は同程度であった。したがって、炭素コンポーネントについては、植生のみでなく、水分や温度などの環境条件によって変化するプロセスについても、Biome-BGC は十分な再現性を有していると言える。

一方、水コンポーネントについて Biome-BGC は十分な再現性を示さない。群落コンダクタンスの過大評価と幼齢林における LAI の過小評価を主な原因として、損失量 (蒸発散量) の計算値が、幼齢林・壮齢林において、観測値と比較してそれぞれ過小・過大な値を取る。パラメータを改変することによって、蒸散量は観測値に対応させることが出来るが、流量については観測値と一致させることができない。これは、対象地においては、深部浸透によって失われる水量 (約 500mm/年) が大きいためである。したがって、水コンポーネント自体の改変が必要になるが、流域からの深部浸透による損失量はグリッドデータからは算出できないため、本研究においては、分布型の水文モデルを水コンポーネントに組み合わせることとした。

## (2) 対象地での流域スケールでの水分動態

次に、異なる森林の成長段階で、流域スケールの水環境がどのように変化するかの検討を行うために、対象地において、流域内での地下水位分布と斜面部位による蒸散量の違いについて、幼齢林 (植栽～植栽後 5 年) と壮齢林 (植栽後約 70 年) の間で比較した。

地下水位については、森林の成長に伴う蒸発散量の増大によって、流域全体での地下水位の

発生頻度が減少していくことが分かった。また、幼齢林、壮齢林ともに、地下水位の上昇率 (土壌の飽和度) が流域下部で顕著に高く、降雨時に飽和帯が形成されていることと、森林の成長に伴ってその飽和帯の面積が変化することが明らかになった (図 2)。

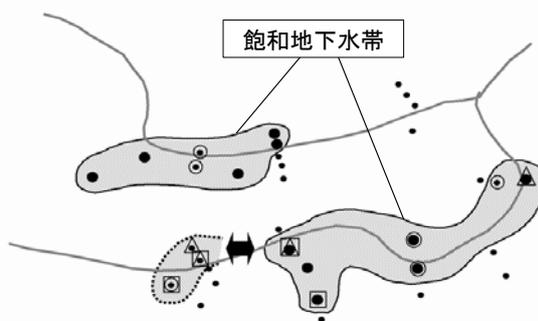


図2 流域内の井戸と地下水位発生タイプ。図上が壮齢林、図下が壮齢林→幼齢林(伐採)流域である。図中実線は溪流、プロットは井戸を示し、地下水位発生頻度や上昇率が高い井戸はマークを区別して示され、降雨時の飽和地下水帯の位置を表している。約 10 年のデータによって、伐採を行った流域において降雨時の飽和帯面積が変化したことが示された。

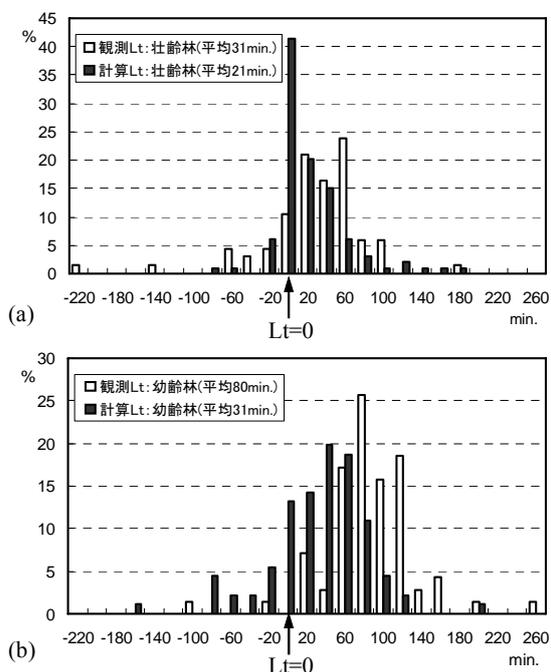


図3 斜面上下部での蒸散開始時刻の差(Lt)の頻度分布。斜面上部の蒸散開始が早い場合に正で表示。

蒸散量については、斜面上下部での樹液流計測の結果を幼齢林と壮齢林で比較したところ、どちらの森林でも、斜面下部での平均蒸散開始

時刻が遅れることが分かった。しかし、壮齢林での平均遅れ時間が約30分であったのに対し、幼齢林では約80分と大きな違いが存在する(図3ab: 観測値)。Jarvis型の群落コンダクタンスモデルを適用した結果、斜面上下部での蒸散開始時刻の差異は、樹冠直上の微気象条件の違いに起因していることが明らかとなったが、幼齢林ではさらに結露による樹冠面の濡れが斜面下部での蒸散開始時刻の大幅な遅れを引き起こしているため、計算値と観測値に差が現れると考えられた(図3ab: 計算値)。

以上の結果を総合すると、山地林では地形に起因して流域内での水環境に違いが現れるが、その分布は森林の成長に伴って変化していると言える。したがって、森林施業の強度に流域内での重み付けを行うことによって、水源涵養機能のある程度制御できると考えられる。

### (3) Biome-BGCによる森林の機能評価

対象地において、レーザースキャナーでの計測と貫入試験(約400点)の結果に基づき、表面地形と基岩地形についてそれぞれ0.5mグリッドの数値地図を作成した上で、Biome-BGCの適用を行った。森林施業による森林の機能評価をいくつかのシナリオで検討した結果、以下のような知見が得られた。

飽和地下水付近を部分的に短伐期化することによって、木材生産機能のある程度維持したままで水資源賦損量は増大する。しかしながら、湧水流量まで増大させるためには、木材生産機能を大幅に低下させる水準での短伐期化と短伐期面積の拡大が必要である。洪水流量について

は、どのような施業を行った場合も大きな違いは現れなかった。また、炭素固定機能については施業の高頻度化と施業面積の増大によって向上するが、水源涵養機能と異なって施業区域の違いによる影響は小さい。

## 4. 今後の課題と発展

現段階において木材生産機能の評価には収量一定の法則(植栽密度によらず収量は一定)を仮定しているが、短伐期施業を実施する際には植栽密度の影響が大きくなると考えられる。今後は既存の収穫モデルとの比較を通して、植栽密度が木材生産機能と炭素固定機能に与える影響についても検討する必要がある。また、Biome-BGCによる成長量分布は、土層厚の分布と高い相関関係にあったが、流域スケールでの土層厚分布の実測には大きな労力を要する。山地における土壌の堆積は、地形と地質の影響を強く受けると考えられるため、Biome-BGCの流域スケールでの適用を広域に展開するにあたって、地質別の「地形指数-土層厚」関係について検討を行い、地形指数からの土層厚推定を行えるようにする必要がある。

## 5. 発表論文リスト

Hotta N, Tanaka N, Sawano S, Kuraji K, Shiraki K, Suzuki M. 2008. Changes in groundwater level dynamics after low-impact forest harvesting in steep, small watersheds. *Journal of Hydrology*, submitted.